

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**

**“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**

**ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”**

**Інженерно-хімічний факультет**

**Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв**

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри МАХНВ

\_\_\_\_\_ Я. М. Корнієнко  
(підпис)

“ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ**

**на здобуття ступеня бакалавра**

**за напрямом підготовки:** 13 – Машинобудування

**спеціальність:** 133 – Галузеве машинобудування

**спеціалізація:** Інжиніринг, обладнання та технології хімічних та нафтопереробних виробництв

**на тему:** Модернізація насадкової ректифікаційної колони установки виробництва ацетону

**Виконав студент IV курсу, групи ЛН-51**

Камінський Всеволод Сергійович

**Керівник проекту** ст. викл., канд. техн. наук, С. В. Гулієнко  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

**Консультанти:**  
з охорони праці канд. техн. наук, доцент І. М. Ковтун  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

**Рецензент:**  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_ В. С. Камінський

Київ – 2019

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**  
**ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”**

**Інженерно-хімічний факультет**

**Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв**

Освітній ступінь: бакалавр

Напрямок підготовки: 13 – Машинобудування

Спеціальність: 133 – Галузеве машинобудування

Спеціалізація: Інжиніринг, обладнання та технології хімічних та нафтопереробних виробництв

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Я. М. Корнієнко

“\_\_” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломний проект студенту**

Камінському Всеволоду Сергійовичу

**1. Тема проекту: Модернізація насадкової ректифікаційної колони установки виробництва ацетону**

Керівник проекту ст. викл., кандидат технічних наук, Гулієнко С. В.

Затверджена наказом по університету від “\_\_” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р. № \_\_\_\_\_

**2. Термін подання студентом проекту: 1 червня 2019р.**

**3. Вихідні дані до проекту:** суміш етанова кислота – ацетон, масова продуктивність колони за вихідною сумішшю – 8000 кг/год; масова частка НКК(етанова кислота) у початковій суміші – 0,35 масова частка НКК(етанова кислота) у дистиляті – 0,93; масова частка НКК(етанова кислота) у кубовому залишку 0,05; температура початкової суміші – 19 °С .

**4. Зміст пояснювальної записки:** а) основна частина: розглянути існуючі конструкції ректифікаційних колон, обґрунтувати вибір конструкції апарата; проаналізувати обрану конструкцію в порівнянні з кращими вітчизняними та світовими аналогами; здійснити розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції: параметричний, конструктивний та гідравлічний, розрахунки на міцність і надійність елементів конструкції апарату; виконати складальне креслення насадкової ректифікаційної колони та її основних складальних одиниць і деталей; розробити рекомендації щодо монтажу та експлуатації колони; здійснити оцінку рівня стандартизації та уніфікації розробки;

б) охорона праці: провести аналіз відповідності апарата до вимог охорони праці, викласти основні вимоги безпечної експлуатації апарата;

в) рекомендації щодо монтажу та експлуатації: надати рекомендації щодо монтажу та експлуатації колони;

**5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов’язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо):** принципова схема установки – А1, кресленик складальний: теплообмінник – А1, корпус – А1, кришка – А2, розподільча тарілка – А2, ілюстрація до технічної ідеї патенту – А3.

**6. Консультанти розділів проекту:**

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Ковтун І. М.		
Економіка	Гайдай С. С.		

**7. Дата видачі завдання:** 15 квітня 2019 р.

## **Abstract**

UDC 066.239

The Bachelor Diploma project on the theme: " Modernization of packed column of acetone production plant ": / National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”; Scientific supervisor – S. Gulienko. – K., 2019.- 131 p. Developer. – V. Kaminskyi – Bibliography: 109 p.

The explanatory note consists of an introduction, 8 chapters, a conclusion, a reference list of 19 items. Total amount of work 131 p., 7 tables and 24 applications.

The project objective is to develop a packing column with a modernized pack intended to produce acetone, with a mass output of the original mixture of 8000 kg / h.

The purpose is achieved by analyzing the diameter and height of the column, performing calculations of hydraulic, flanged connections, wind load, support(pillar), shell and bottom, and insulation layer. Algorithmic diagrams, table of identifiers and programs for checking the calculation of flange connections are presented. The program is executed in the algorithmic language Mathcad 15. Data analysis and conclusions are developed.

The calculation and explanatory note contain a description of the technological scheme of the installation and description of the design of the nozzle distillation column to produce acetone. The graphic part of the project includes four drawings A1, containing the technological scheme of the plant for the production of ethyl alcohol, a drawing assembly and drawings of assembly units and parts.

A patent search and comparison of the chosen design of analogues was conducted. Based on the data, an improved design size of the machine was chosen.

**PACKED, RECTIFICATION, COLUMN, ETHANE, ACID, ACETONE.**

## Реферат

УДК 066.239.

Диплом бакалавра по темі: «Модернізація насадкової колони установки виробництва ацетону»: / Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»; Науковий керівник - С. Гулієнко. - К., 2019.- 131 с. Розробник. - В. Камінський - Бібліографія: 109 с.

Пояснювальна записка складається з вступу, 8 розділів, висновку, переліку посилань 19 пунктів. Загальний обсяг роботи 131 с., 7 таблиць, 24 рисунків і 24 додатка.

Завданням проекту є розробка насадкової ректифікаційної колони з модернізованою насадкою, призначеної для отримання ацетону, за масовою продуктивністю вихідної суміші 8000 кг/год.

Призначена мета досягається аналітичним визначенням діаметра і висоти колони, виконанням розрахунків гідравлічних, фланцевих з'єднань, вітрового навантаження, опори, обичайки та днища, та ізоляційного шару. Приведені алгоритмічні схеми, таблиця ідентифікаторів і програми для перевірки розрахунку фланцевих з'єднань. Програма виконується на алгоритмічній мові Mathcad 15. Наведено аналіз даних і розроблені висновки.

Розрахунок і пояснювальна записка містять опис технологічної схеми установки і опис конструкції насадкової ректифікаційної колони для отримання ацетону. Графічна частина проекту включає чотири креслення А1, що містять технологічну схему установки з виробництва етилового спирту, складає креслення та креслення складальних одиниць та деталей.

Було проведено патентний пошук і порівняння обраної конструкції аналогів. Виходячи з даних, було обрано поліпшений розмір конструкції машини.

НАСАДКА, РЕКТИФІКАЦІЯ, КОЛОНА, ЕТАН, КИСЛОТА, АЦЕТАН

## Реферат

УДК 066.239.

Диплом бакалавра по теме: «Модернизация насадочной колонны завода по производству ацетона»: / Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского»; Научный руководитель - С. Гулиенко. - К., 2019.- 131 с. Разработчик. - В. Каминский - Библиография: 109 с.

Пояснительная записка состоит из введения, 8 глав, заключения, списка ссылок 19 пунктов. Общий объем работы 131 с., 7 таблиц, 24 рисунков и 24 приложения.

Задачей проекта является разработка насадочной ректификационной колонны с модернизированной насадкой, предназначенной для получения ацетона, с массовой производительностью исходной смеси 8000 кг / час.

Предназначена цель достигается аналитическим определением диаметра и высоты колонны, выполнением расчетов гидравлических, фланцевых соединений, ветровой нагрузки, опоры, обечайки и днища, и изоляционного слоя. Приведены алгоритмические схемы, таблица идентификаторов и программы для проверки расчета фланцевых соединений. Программа выполняется на алгоритмическом языке Mathcad 15. Приведен анализ данных и разработаны выводы.

Расчет и пояснительная записка содержат описание технологической схемы установки и описание конструкции насадочных ректификационной колонны для получения ацетона. Графическая часть проекта включает четыре чертежи А1, содержащие технологическую схему установки по производству этилового спирта, складалье чертежи и чертежи сборочных единиц и деталей.

Было проведен патентный поиск и сравнение выбранной конструкции аналогов. Исходя из данных, был избран улучшенный размер конструкции машины.

НАСАДКА, РЕКТИФИКАЦЯ, КОЛОНА, ЭТАН, КИСЛОТА, АЦЕТОН

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**  
**ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”**  
**Інженерно-хімічний факультет**  
**Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв**

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
**ДО ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ**  
**на здобуття ступеня бакалавра**

**за напрямом підготовки:** 13 – Машинобудування

**спеціальність:** 133 – Галузеве машинобудування

**спеціалізація:** Інжиніринг, обладнання та технології хімічних та нафтопереробних виробництв

**на тему: Модернізація насадкової ректифікаційної колони установки виробництва ацетону**

## Зміст

Вступ.....	12
1. Призначення та область використання апарата .....	13
1.1 Опис технологічного процесу .....	14
1.2 Вибір типу апарата та його місце в технологічній схемі.....	15
2. Технічна характеристика .....	17
3.Опис та обґрунтування вибраної конструкції парогенератора .....	18
3.1 Опис конструкції, основних складальних одиниць та деталей апарата.....	18
3.2 Вибір матеріалів .....	20
3.3 Порівняння основних показників розробленої конструкції з аналогами ...	21
3.4 Патентне дослідження .....	23
4 Охорона праці.....	30
5 Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкцій .	36
5.1 Параметричний розрахунок насадкової ректифікаційної колони .....	36
5.2 Розрахунок гідравлічних опорів.....	54
5.3 Тепловий розрахунок .....	55
5.4 Вибір штутцерів .....	52
5.5 Розрахунок товщини стінки циліндричної обичайки .....	62
5.6 Розрахунок еліптичного днища .....	63
5.7 Розрахунок фланцевого з'єднання .....	65
5.8 Розрахунок навітрове навантаження.....	74
5.9 Розрахунок опори колонного апарата .....	86
5.10 Розрахунок теплової ізоляції .....	93
6 Рекомендації щодо монтажу та експлуатації насадкової ректифікаційної колони.....	96

					ЛН01.066239.001 ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.Змн.	Підпис	Дата				
Разроб.	Касінський				Модернізація насадкової ректифікаційної колони установки виробництва	Літ.	Лист	Листів
Перев.	Гулієнко						10	131
Н.Контр.	Степанюк					КПІ ім. Ізоря Сікорського, ІХФ, МАХНВ		
Затв.								



7	Рівень стандартизації та уніфікації.....	98
8	Економічна частина проекту .....	99
	Висновок .....	105
	Вывод .....	106
	Conclusion .....	107
	Перелік посилань .....	108
	Додаток А Документація до патентного дослідження.....	110
	Додаток Б Комп'ютерний розрахунок елементів ректифікаційних колони...	115
	Додаток В Патенти, які використані в патентному дослідженні.....	119
	Додаток Г Публікації автора.....	125

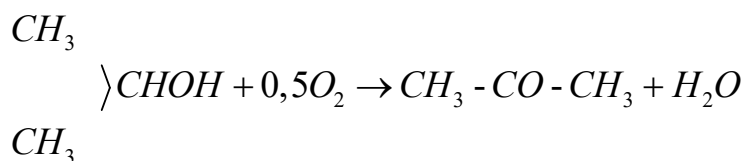
## Вступ

Ацетон це важлива речовина в органічному синтезі.

Ацетон в порівнянні не великих кількостях отримується при сухій перегонці деревини разом з етановою кислотою. Довгий час його отримували бродінням вуглеводів у присутності особливих бактерій. Проукти бродіння містять 30,5% ацетону. В наш час цей спосіб вже не є ефективним, його витісняють синтетичні методи отримання ацетону, де якості сировин виступають продукти переробки нафти, нафтових газів і кам'яного вугілля[1, ст. 526 – 531].

Промислові методи отримання синтетичного ацетону загалом численні. Найбільш поширеним методом є окислювальне дегідрування ізопропілового спирту.

При отриманні ацетону окислювальним дегідруванням ізопропанолу, в паровій фазі суміш парів спирту і повітря пропускають над металевим каталізатором при високій температурі:



Внаслідок екзотермічно реакції можливі сильні перегріви контактної маси і розкладання утвореного ацетона. Для зменшення сумарного теплового ефекта, процес проводять недостатку повітря.

Метою даного проекту є модернізація і розрахунок насадкової ректифікаційної колони установки виробництва ацетону.

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 1 Призначення і область використання установки виробництва ацетону

Процес виробництва ацетону має важливу роль у хімічній промисловості. Ацетон має широкий спектр використання у промисловості і побуті:

- розчинення лаків, нітролаків, нітроемалей, ацетилену, нітроцелюлози, гуми, воску, жирів і інших речовин;
- видалення лакофарбової продукції та лаку для нігтів;
- розчинення ряду солей (йодистого калію, хлористого кальцію та ін.);
- виготовлення лікарських препаратів;
- створення штучного шовку;
- виробництва міцних органічних скловиробів, і пластмаси на основі нітрату целюлози - целулоїду;
- отримання нітропорохів;
- виготовлення плівок для кінозйомок та ін.

Ацетон - сировина для виготовлення широкого ряду хім. продуктів: парфумерних виробів, барвників (наприклад, індиго), штучного каучуку і штучної шкіри. Він ефективно знезаражує шерсть і хутра. Спільно з солями кислот задіюється при фарбуванні і друкуванні текстилю.

Установки отримання ацетону мають багато конфігурацій та способів його виробництва. В даному дипломному проєкті я розглядаю саме установку отримання ацетону окислювальним дегідруванням ізопропанолу.

Цей метод є ефективним і не застарілим у порівнянні з методом сухої перегонки деревини з оцетовою кислотою при якому отримання ацетону мінімальне. Тому було обране саме окислювальне дегідрування ізопропанолу.

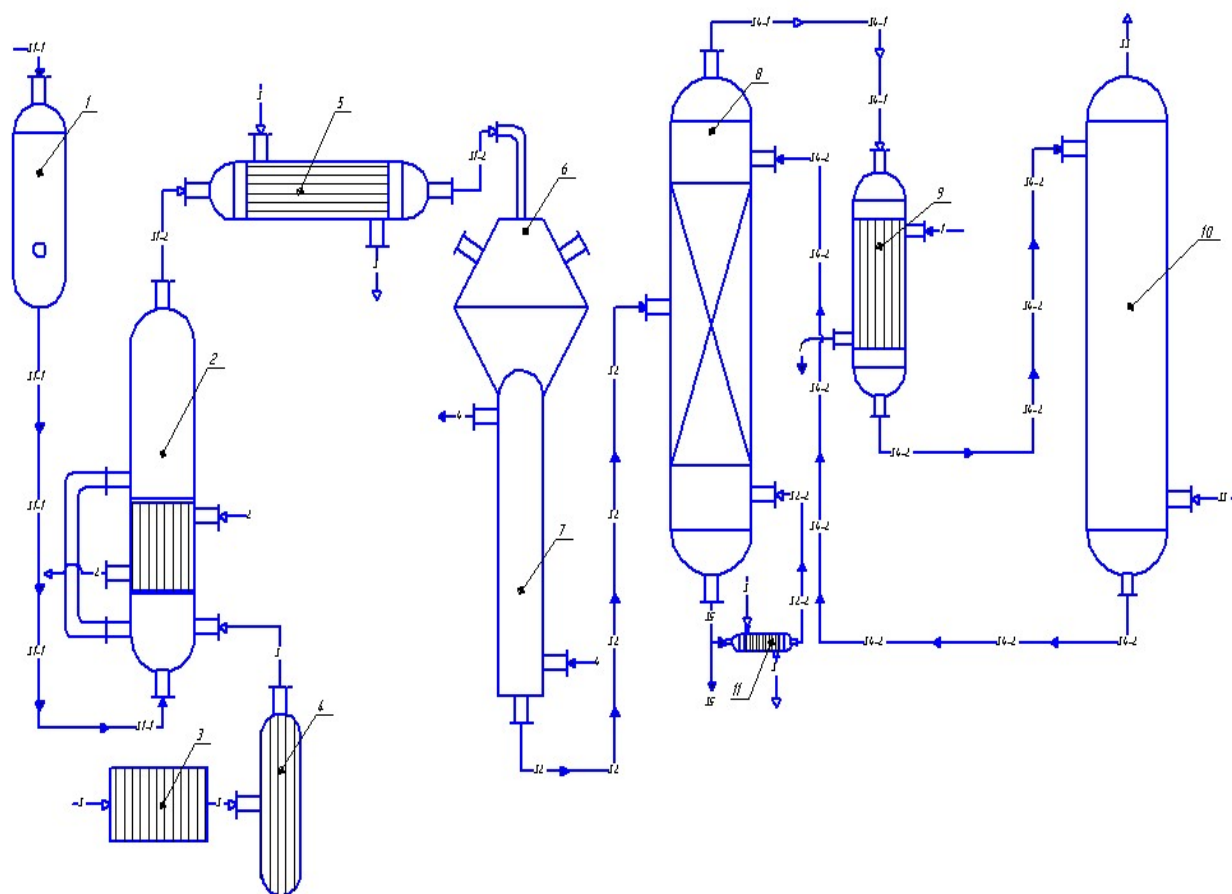
Таким чином була складена схема (Рисунок 1.1) з основним компонентом якої стала насадкова ректифікаційна колона з модернізованою ланцюговою насадкою.

Насадкова ректифікаційна колона в цій схемі використовуються для розділення початкової суміші (ацетон– етанова кислота), є останнім елементом з кубового залишку якого виходить ацетон.

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 1.1 Опис технологічної схеми

Модернізовану технологічну схему виробництва ацетону зображено на рисунку 1.1.[1, ст. 461]



- 1 – мірник; 2 – випаровувач; 3 – фільтр; 4 – повітродувка; 5 – підігрівач;  
6 – контактний апарат; 7 – холодильник; 8,10 – насадкові масообмінні колони;  
9 – проміжний холодильник, 11 – випарник

Рисунок 1.1. – Схема виробництва ацетону окисленням ізопропанолу

Ізопропанол через мірник 1 подають у випаровувач 2, який нагрівається глухою парою або гарячою водою. Водночас через випарник пропускають очищений від пилу та інших домішок повітря, який нагнітається повітродувкою 4. Барботуючи через шар спирту, нагрітого до 45 – 50°C, повітря збагачується його парами до вмісту приблизно 0,5 г ізопропанолу в 1 л паро-повітряної суміші, що значно перевищує верхню границю вибуховості суміші парів ізопропанолу і повітря.

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Дуже важливо підтримувати постійний склад паро – повітряної суміші, так як при підвищеному складі парів спирту побічні реакції протікають більш інтенсивно, а при пониженому складі спирту може утворитися вибухонебезпечна суміш.

Процес отримання ацетону окислювальним дегідруванням ізопропілового спирту складають наступні стадії(Рисунок 1.1) – випаровування ізопропілового спирту, насичення повітря парами спирту і перегрів пароповітряної суміші, окислювальне дегідрування ізопропанолу при 600°C на срібному каталізаторі і охолодження продуктів реакції, абсорбція ацетону з контактних газів водою, ректифікація і очистка ацетону.

Навіть при незначних коливаннях складу паро–повітряної суміші порушується нормальний хід процесу, а тому у систему постачають автоматичними регуляторами рівня спирту в випарнику, температури повітря і спирту та тиск у системі

Основним елементом технологічної схеми є насадкові масообмінні колони, які були вдосконалені, заміною насадки з малою питомою поверхнею на ланцюгову насадку з поперечними ланками і концентричним розташуванням самої насадки. Збільшення питомої поверхні контакту фаз значно збільшило рушійну силу процесу.

Для запобігання конденсації парів спирту з паро – повітряної суміші її підігрівають в апараті 5 глухою парою до 110°C і при цій температурі подають у контактний апарат 6. При встановленому процесі окислення протікає ауто термічно. Температурний режим у контактному апараті регулюється, змінюючи температуру і кількість паро – газової суміші. У період пуску системи для ініціювання реакції використовують платино – азбестовий контактний запал встановлений на вході газу у шар каталізатору, або електрозапал.

Продукти реакції, які виходять з контактного апарата, охолоджують в холодильнику 7 до 45 °C.

Далі ця суміш потрапляє у насадкову ректифікаційну колону де проходить розділення суміші ацетон – етанова кислота на ацетон і етанову кислоту. Ацетон

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

потрапляє у кубовий залишок, а етанова кислота, як дистилят і в подальшому потрапляє у конденсатор де конденсується і виводиться етанова кислота.

## 1.2 Вибір типу ректифікаційної колон

Масообмні колони, які доцільно використовувати в даному випадку можна поділити на:

- насадкові апарати з регулярною насадкою;
- насадкові апарати з нерегулярною насадкою;
- тарілчасті апарати, з ковпачковими тарілками та сітчастими тарілками.

Порівняння основних показників цих апаратів приведено в пункті (3.4).

Насадкові апарати, поверхнею контакту фаз є змочена насадка. В якості насадки можна використовувати керамічні або металеві кільця, залежно від ситуації, кокс, шматки андезита, гравій, фігурні елементи, дерев'яні рейки і т. д. Взагалі варіативність і конфігурація насадок майже не має меж, але все стикається з питомою поверхнею масообміну. Вибір насадки залежить від процесу і визначає розміри апарати, питома поверхня має прямий вплив на розрахунок діаметра колони і її висоти.

Тарілчасті апарати натомість являють собою колони в яких замість насадок встановлюють тарілки. Поверхнею контакту фаз в таких апаратах виступають бульбашки суміші, що барботує. Чим більша кількість бульбашок і менший їх діаметр тим більша кількість речовини, що дифундує, тобто більша ефективність масообміну.

Для процесу розділення суміші ацетон – етанова кислота доцільно взяти насадкову ректифікаційну колону через те, що метою цього процесу є отримання ацетону. Така суміш має низьку температуру кипіння, а пари етанової кислоти є вибухонебезпечні, тому виникає велика потреба температурного контролю, також ця суміш є малов'язкою і тому сітчасті тарілки будуть захлинатися і тому вивести на стабільну роботу таку колону буде дуже важко.

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2 Технічна характеристика

Початкова температура суміші ацетон–етанова кислота	
ацетону, К	291;
кінцева температура ацетону, К	321;
кінцева температура етанової кислоти, К	287;
діаметр апарата, м	1;
висота апарата, м	25;
масова продуктивність за вихідною сумішшю, кг/год	8000;
масова частка НКК у початковій суміші	8000;
масова частка НКК у дистиляті	0,35;
масова частка НКК у кубовому залишку	0,93;
висота апарата, м	24,6
діаметр колони, м	1

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3. Опис та обґрунтування вибраної конструкції насадкової ректифікаційної колони

#### 3.1 Опис конструкції, основних складальних одиниць та деталей апарата

Схема насадкової ректифікаційної колони показана на рисунку 3.1.

Суміш ацетон – етанова кислота надходить в апарат через штуцер 10 за температури 19 °С, а через штуцер 11 грійна пара.

Підчас проходження грійною парою насадки, яка змочується сумістю ацетон – етанова кислота, відбувається утворення конденсату. Це призведе до кипіння суміші і виділення пари, що рухатиметься на іншу секцію, а концентрація ВКК (ацетону) збільшиться.

З кожним проходженням секції, концентрація ацетону збільшується і тому на виході в кубовому залишку вміст етанової кислоти не буде перевищувати 5%.

Також в колоні встановлені розподільча і перерозподільчі тарілки.

Розподільча стрілка використовується для зрошення насадки і зменшення сухих зон, що зменшують ефективність масо передачі колони.

Перерозподільча тарілка встановлена після кожної секції насадок. Кожна тарілка запобігає утворення сухого конусу, який виникає через розподілення рідини по насадці не рівномірно.

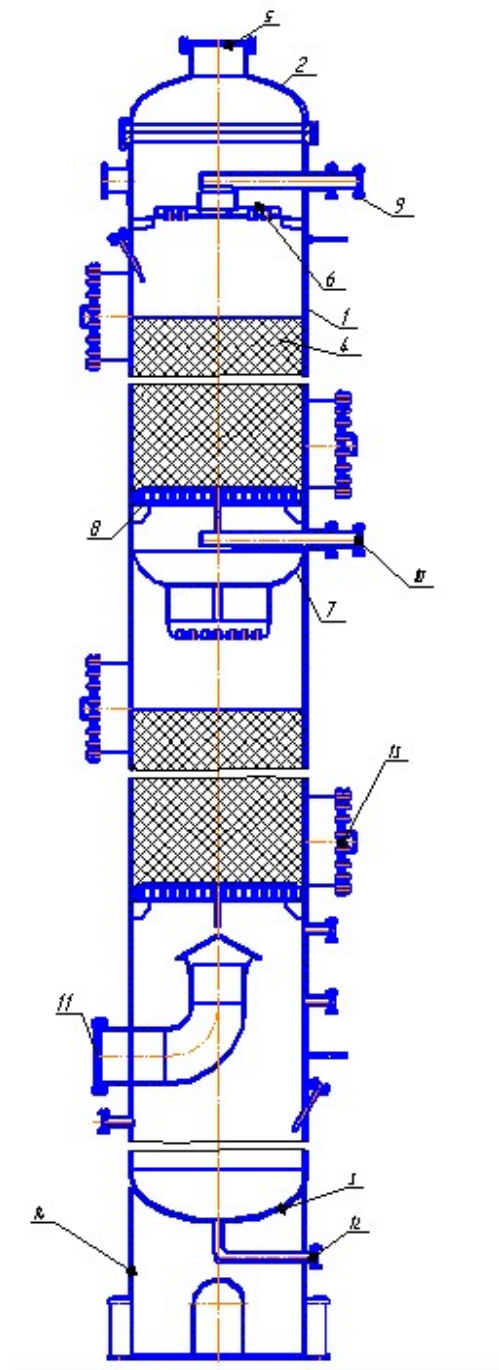
На корпус апарату встановлено 12 люків діаметром 600 мм. Їх призначення в тому, щоб контролювати ланцюгову насадку встановлену на сітку концентрично. Кожен люк встановлено навпроти сітки, що дає змогу безпосередньо регулювати насадку.

Насадка в апараті має вигляд ланцюгів, що з'єднані між собою поперечним ланками та розміщені в апараті концентрично.

Таке виконання дозволяє збільшити питому поверхню насадки, що збільшить ефективність протікання процесу.

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		





1 – корпус, 2 – кришка, 3 – днище, 4 – цепна насадка, 5 – штуцер для виходу дистиляту, 6 – розподільча тарілка, 7 – перерозподільча тарілка, 8 – сітка, 9 – штуцер для входу флегми, 10 – штуцер для входу початкової суміші, 11 – штуцер для входу грійної пари, 12 – штуцер для виходу кубового залишку, 13 – люк, 14 – опора.

Рисунок 3.1 – Схема насадкової ректифікаційної колони

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

### 3.2 Вибір матеріалів

Вибір матеріалів конструкції насадкової ректифікаційної колони проводиться за [2].

Корпус насадкової ректифікаційної колони виготовлено зі сталі 08X18H10T згідно з [2]. Сталь марки 08X18H10T має відповідати технічним вимогам [3] та [4], працює в інтервалі температур від мінус -253 °C до 600 °C та тиску до 10 МПа. Сталь 08X18H10T застосовується також при виготовленні обичайок, корпусів, днищ, фланців, люків, патрубків та інших деталей, що працюють в даному інтервалі температур та тисків .

Днище еліптичне виготовлено зі сталі 08X18H10T згідно з [2]. Сталь марки 08X18H10T має відповідати технічним вимогам [3] та [4], працює в інтервалі температур від мінус- 253 °C до 600 °C та тиску до 10 МПа.

Плоскі приварні фланці виготовлені із сталі 08X18H10T згідно [2]. Сталь марки 08X18H10T має відповідати технічним вимогам [3] та [4]. Працює в інтервалі температур від мінус – -253 °C до 600 °C та тиску до 10 МПа.

Люки колони виготовлені зі сталі 08X18H10T згідно з [2]. Сталь марки 08X18H10T має відповідати технічним вимогам [3] та [4], працює в інтервалі температур від мінус -253 °C до 600 °C та тиску до 10 МПа.

Опорна решітка виготовлена зі сталі 08X18H10T згідно з[2]. Сталь марки 08X18H10T має відповідати технічним вимогам [3] та [4], працює в інтервалі температур від мінус – 253 °C до 600 °C та тиску до 10 МПа.

Розподільча тарілка виготовлена зі сталі 08X18H10T згідно з[2]. Сталь марки 08X18H10T має відповідати технічним вимогам [3] та [4], працює в інтервалі температур від мінус – 253 °C до 600 °C та тиску до 10 МПа.

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3.3 Порівняння основних показників розробленої конструкції з аналогами

Мета: порівняння конструкцій вже існуючих ректифікаційних колон з розробленою насадковою ректифікаційною колоною.

Характерними умовами при конструюванні та вибору ректифікаційної колони є: забезпечення якомога більшого коефіцієнта масопередачі; найменшого гідравлічного опору; уніфікація вузлів і деталей; змочуваність насадки; мінімальна кількість сухих, застійних зон; запобігання утворення сухого конусу.

Доцільним варіантом до запропонованої конструкції за принципом роботи є насадкова ректифікаційна колона з ланцюговою насадкою. Насадка в колоні встановлена концентрично, а після кожної секції з насадкою встановлена перерозподільча тарілка. Така конфігурація насадки і допоміжних елементів дозволяє збільшити питому поверхню та змочуваність насадки. Крім того, колонні апарат та обладнання запропонованої конструкції мають досить великий коефіцієнт масопередачі та велику кількість переданої речовини. Проте, досить суттєвим недоліком є значний гідравлічний опір.

Натомість, насадкова ректифікаційна колона з нерегулярною насадкою зазвичай має більшу питому поверхню насадки. Але така конфігурація потерпає від сухого конусу та гіршої змочуваності, а це натомість призводить до зменшення коефіцієнта масопередачі.

Тарілчасті або барботажні тарілки в свою чергу мають велику питому поверхню та високий коефіцієнт масопередачі, за рахунок бульбашок, які в цій системі виконують роль поверхні контакту фаз. За рахунок збільшення кількості бульбашок і зменшення їх діаметру досягається дуже ефективний масообмін. Але такі колони мають великий недолік, це великий гідравлічний опір завдяки якому контролювати процес та стабілізувати його дуже важко.

Порівняння приведені у таблиці 3.1.

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1 – Порівняльна характеристика парогенераторів

Основні технологічні показники	Ланцюгова насадка(регулярна)	Сідла Берля (нерегулярна)	Тарілчаста (ковпачкові тарілки)	Тарілчаста (сітчасті тарілки)
Питома поверхня бали (1 – 4)	2	3	4	4
Гідравлічний опір (1 – 4)	4	3	2	1
Змочуваність, бали (1 – 2)	2	1	–	–
Барботаж бали (1 – 2)	–	–	1	2
Складність виготовлення, бали (4 – 1)	4	3	2	1
Складність експлуатації, бали (4 – 1)	4	3	2	1
Утворення сухих зон бали (4-1)	4	2	3	1
Сума	20	15	14	10

Висновок: Порівняння насадкової ректифікаційної колони, що проектується з аналогами показало, що вибрана конструкція колони, відповідає заданим умовам і має вищу характеристичну оцінку .

### 3.4 Патентне дослідження

Для знаходження об'єктів порівняння та перевірки патентної чистоти розробленої конструкції даної ректифікаційної колони був проведений пошук патентів. Результати даного пошуку приведені в додатку А. Предметом патентного пошуку є Масообмінні апарати різних конфігурацій. Для докладного аналізу було обрано патенти [5-9].

Аналіз патентів дозволяє зробити висновок, що в галузі масообмінних апаратів значна кількість розробок спрямована на патентування різних конфігурацій насадок та тарілок.

У проектованому апараті не використовуються конструктивні рішення, захищені діючими патентами, апарат є патентно чистим.

Насадка для масообмінної колони [5], що зображений на рисунках 3.2, може бути використаний в хімічній, харчовій та споріднених з ними галузях промисловості для масообмінних колон, таких як дистиляційні, абсорбційні та ректифікаційні колони, які обладнані різними типами насадок для контакту пари та рідини

Запропонована конфігурація насадко масообмінної колони забезпечує велику питому поверхню, високий коефіцієнт масопередачі, високі техніко-економічні показники технології виготовлення.

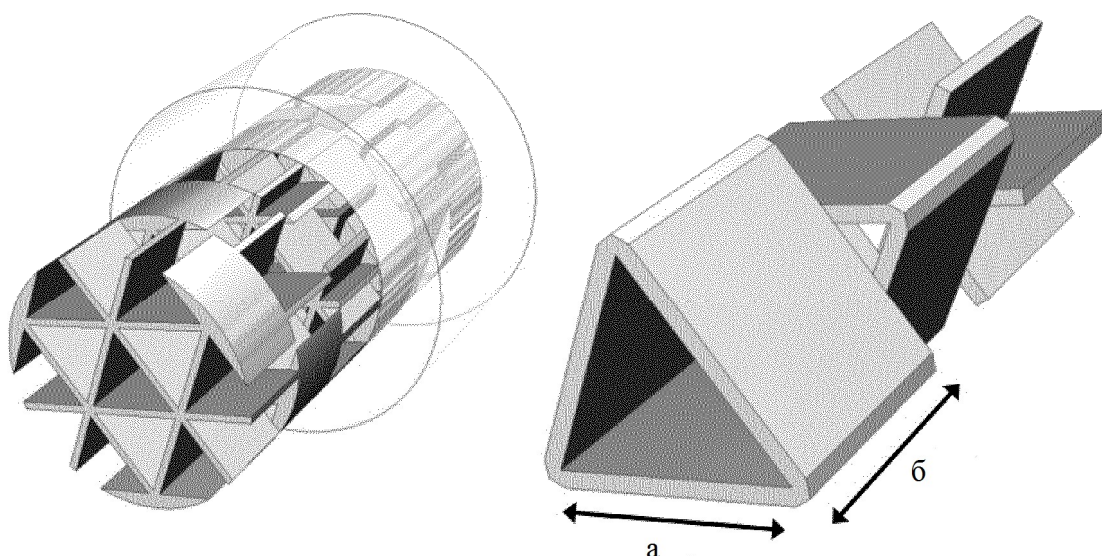
Переваги апарата:

- 1) велика питома поверхня;
- 2) інтенсивний процес масопередачі;
- 3) добра змочуваність;
- 4) стійке протікання процесу

Недоліки апарата:

- 1) складність виготовлення;
- 2) високий гідравлічний опір

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



$a$  – довжина сторони трикутника;  $b$  – висота трикутника.

Рисунок 3.2 – Регулярна насадка

Насадка для масообмінної колони [6], що зображений на рисунках 3.3, може бути використаний в хімічній, харчовій та споріднених з ними галузях промисловості для масообмінних колон, таких як дистиляційні, абсорбційні та ректифікаційні колони, які обладнані різними типами насадко для контакту пари та рідини

Запропонована конфігурація насадко масообмінної колони забезпечує велику питому поверхню, високий коефіцієнт масопередачі, високі техніко-економічні показники технології виготовлення.

Переваги апарата:

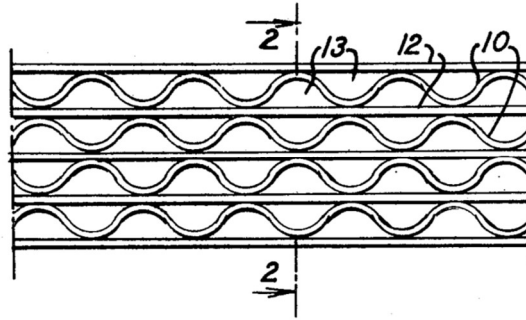
- 1) велика питома поверхня;
- 2) інтенсивний процес масопередачі;
- 3) добра змочуваність;
- 4) стійке протікання процесу

Недоліки апарата:

- 1) складність виготовлення;

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

2) високий гідравлічний опір



10 – звичайні гофровані листи; 12 – плоскі гофровані листи;

13 – клітинні простори

Рисунок 3.3 – Схема регулярної насадки

Конфігурація тарілки [7], що зображений на рисунку 3.4, може бути використаний в хімічній, харчовій та споріднених з ними галузях промисловості для масообмінних колон, таких як дистиляційні, абсорбційні та ректифікаційні колони, які обладнані різними типами тарілок для контакту пари та рідини

Запропонована конфігурація тарілок масообмінної колони забезпечує велику питому поверхню, високий коефіцієнт масопередачі, високі техніко-економічні показники технології виготовлення.

Переваги апарата:

- 1) велика питома поверхня;
- 2) інтенсивний процес масопередачі;
- 3) ефективна робота ;

Недоліки апарата:

- 1) складність виготовлення;
- 2) складність експлуатації;
- 3) потребує високої точності налаштування;
- 4) високий гідравлічний опір

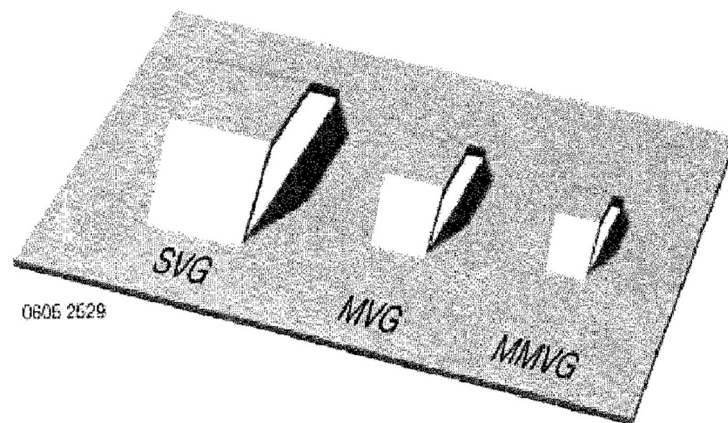


Рисунок 3.4 – Конфігурація ковпачків тарілки

Масообмінний апарат [8], що зображений на рисунках 3.5 та 3.6, може бути використаний в хімічній, харчовій та споріднених з ними галузях промисловості для масообмінних колон, таких як дистиляційні, абсорбційні та ректифікаційні колони, які обладнані різними типами тарілок для контакту пари та рідини

Запропонована конфігурація тарілок масообмінної колони забезпечує велику питому поверхню, високий коефіцієнт масопередачі, високі техніко-економічні показники технології виготовлення.

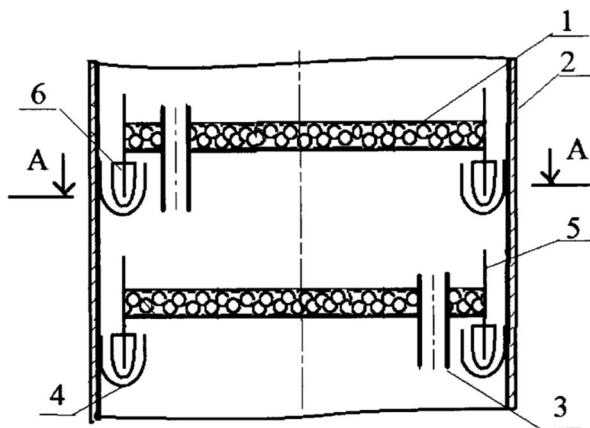
Переваги апарата:

- 1) велика питома поверхня;
- 2) інтенсивний процес масопередачі;
- 3) ефективна робота ;
- 4) стійке протікання процесу

Недоліки апарата:

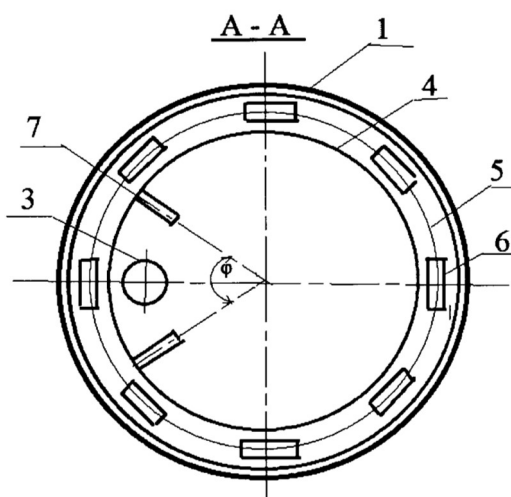
- 1) складність виготовлення;
- 2) високий гідравлічний опір





1 – перфоровані диски; 2 – корпус; 3 – переливні патрубки;  
4 – кільцеві жолоби; 5 – кільця; 6 – поплавки.

Рисунок 3.5 – Схема установки двух тарілок в масообмінному параті



1 – перфоровані диски; 2 – корпус; 3 – переливні патрубки;  
4 – кільцеві жолоби; 5 – кільця; 6 – поплавки;  
7 – обмежувальна пластина.

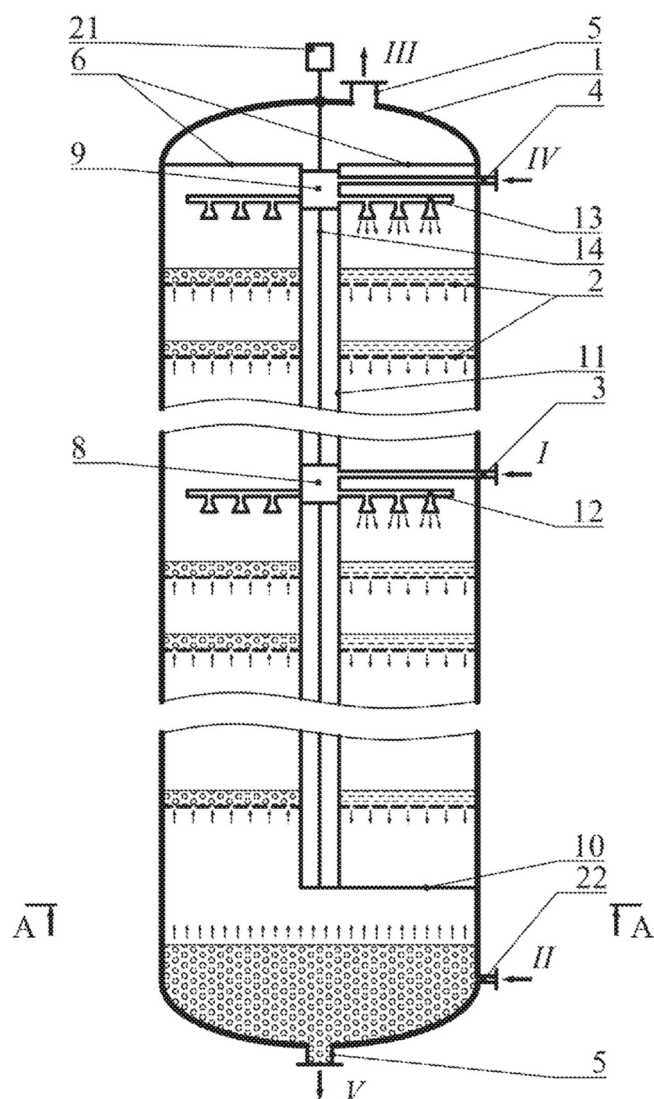
Рисунок 3.6 Горизонтальний переріз A–A у зоні установки тарілок

Масообмінний апарат [9], що зображений на рисунках 3.7, може бути використаний в хімічній, харчовій та споріднених з ними галузях промисловості для масообмінних колон, таких як дистиляційні, абсорбційні та ректифікаційні колони, які обладнані різними типами тарілок для контакту пари та рідини

Запропонована конфігурація тарілок масообмінної колони забезпечує

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

велику питому поверхню, високий коефіцієнт масопередачі, високі техніко-економічні показники технології виготовлення.



- 1 – корпус; 2 – масообмінні тарілки; 3 – подача вихідної суміші;  
 4 – подача флегми; 5 – патрубки виводу отриманих компонентів суміші;  
 6 – перегородки; 7 – вертикальна секція; 8,9 – розподільчі пристрої;  
 10 – регулятор парової фази; 11 – коаксиальна обичайка;  
 12 – патрубки вихідної суміші; 13 – патрубки подачі флегми; 14 – вал;  
 21 – привід вала; 22 – патрубок подачі пари

Рисунок 3.7 – Схема масообмінної колонії

Переваги апарата:

- 1) велика питома поверхня;
- 2) інтенсивний процес масопередачі;

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

3) ефективна робота ;

Недолік цього способу полягає в тому, що в умовах великотоннажних виробництв важко здійснити узгодження роботи клапанів, встановлених на лініях подачі живлення, подачі і виведення парової фази, подачі пари, що гріє в куб через велику інерційності системи. Це ускладнює практичну реалізацію способу.

Результат патентного пошуку наведений в додатку А.

Висновок: Більшість оглянутих модернізацій апаратів спрямовані на покращення попередніх моделей, спрощення та довершення конструкцій, підвищення ефективності, спрощення шляхом розробки нових конфігурацій елементів контакту фаз системи

Патентний огляд встановив, що розроблена насадкова масообмінна колона є патентно чистою, модернізованою та готовою до експлуатації.

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 4 Охорона праці

Охорона праці і оточуючого середовища розглядає такі питання, як безпека праці, усунення причин травматизму і запобігання професійних захворювань, аварійних ситуацій на виробництві, та питання по правовій охороні праці.

Розрахунки та рекомендації обрані з

Тема. Модернізація насадкової ректифікаційної колони установки виробництва ацетону

Насадкова ректифікаційна колона для отримання ацетону встановлена зовні цеху, обслуговується оператором, який працює у кабіні оператора поблизу.  
 $S=600 \text{ м}^2$ ;  $V=3600 \text{ м}^3$ .

Ацетон вибухонебезпечна та пожежонебезпечна речовина. Працюючи з ацетоном повинна бути витяжка та необхідно ретельно стежити за вмістом його у повітрі бо повітряні суміші ацетону вибухонебезпечні.

Шкідливими і небезпечними виробничими факторами є:

- параметри повітря робочої зони ;
- виробничий шум, транспортерами і електродвигунами;
- враження електричним струмом (електромережа живлення установки);
- промислове освітлення;
- вибухо-, пожежонебезпека

Повітря робочої зони

Робота операторів з апаратами обробки ізопропанолу, повинна проводитися у приміщенні з активною циркуляцією повітря, а приміщення з самими апаратами оснащене витяжками. Оператор виконує свою роботу у стаціонарній установці, така робота відноситься до категорії робіт важкої через те, що установка розташована в умовах шуму, робота проводиться в 2 зміни. Витрати енергії за

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

таких умов праці складають більше 293 Дж/с. У зв'язку з цим передбачено можливість відпочинку персоналу в закритому приміщенні.

Параметри мікроклімату приміщення, а саме параметри відносної вологості, швидкості руху повітря в робочій зоні і температури повітря приведені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 Порівняння характеристик за сезонами року.

Сезон року	Категорія робіт – III		
	Оптимальна температура, °C	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря(не більше ніж), м/с
Холодний	16-18	40-60	0,1
Теплий	18-20	40-60	0,4

Параметри повітря робочої зони відповідають ДСН 3.3.6.042-99. Забезпечення параметрів здійснюється в зимовий час за допомогою водяного опалення з температурою теплоносія 70-90 °C, а в теплий час року вентиляцією.

Шкідливою речовиною у виробництві є ацетон, а тобто пари ацетону. За ГДК шкідливих речовин у повітрі вміст ацетону не повинен перевищувати 200 мг/м.

Індивідуальні засоби захисту використовуються: Респіратор Клен ГП КД.

Небезпека враження електричним струмом

Для живлення елементів установки використовується трифазна напруга 220/380 В з ізольованою нейтраллю частотою 50 Гц.

Причини виникнення ситуацій враження обслуговуючого персоналу можуть бути такими:

- помилкове включення установки;
- пробій на корпус;

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

- випадки дотику людей до відкритих струмопровідних частин електроустаткування;
- старіння ізоляції і втрата нею ізоляційних властивостей;
- дотик до частин установки, що можуть опинитися під напругою у
- випадку короткого замикання.

З метою запобігання травм рекомендується прийняти такі міри безпеки:

- рубильники включення установки повинні знаходитися у спеціальній шафі;
- передбачити спеціальне захисне відключення електродвигунів у випадку улучення людини напругою;
- проводку проводити в захисних металевих рукавах;
- на панель керування вивести сигнальні лампи індикації включення електроустаткування;
- вузли установки, що можуть виявитися під напругою, повинні мати затискачі для підключення заземлення;

Заземлення установки виконується відповідно до ГОСТ 12.1.030-81.

Обов'язково нанести незмивні червоні знаки "Земля" біля затискачів заземлення за ГОСТ 21.1.030-89.

Для перевірки на електричну міцність ізоляції проведене випробування на випробувальну напругу 200 В частотою 50 Гц протягом 1 хвилини. Опір ізоляції повинен бути не менше 0,5 МОм.

Електрична апаратура, яка встановлена всередині приміщень, повинна мати ступінь захисту IP-54 ГОСТ 14254-80.

Ізоляція провідників вимірюється мегомметром 11044 ТУ 25-04-798-18.

Напруга вимірюється вольтметром 351512 ТУ 25-04-1970-80. Ступінь захисту електричної апаратури в середині приміщень контролюється за ГОСТ 14254-80.

При застосуванні ручного переносного електроустаткування застосовувати живлячу напругу 42 В від окремого трансформатора. Лінія живлення устаткування має захисні теплові вимикачі.

Розрахункові геометричні розміри заземлення зі сталевих стрижнів приймаємо діаметром  $d=0.014$  м.

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$R_{зм} \leq 4 \text{ Ом}$$

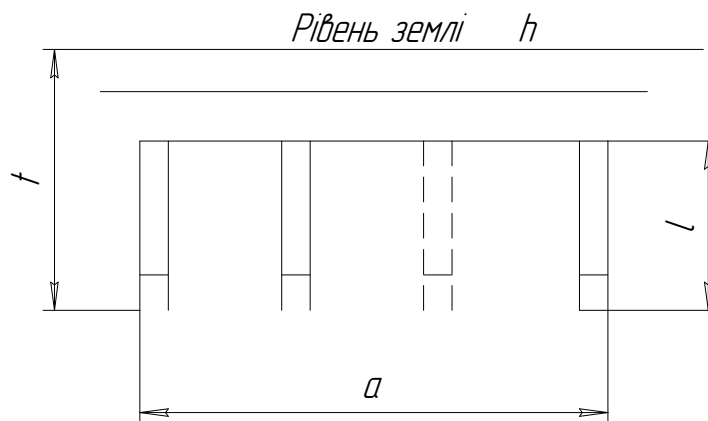


Рисунок 3.1. Схема заземлення

Заземлення виконується згідно з ГОСТ 12.1.030-81.

### Освітлення

Робоче місце оператора має освітлення робочої зони  $E_{\text{нор}}=150$  лк.

Для забезпечення правильної виробничої діяльності на підприємствах машинобудівної промисловості необхідно правильно спроектувати та виконати освітлення. У значній мірі від умов освітлення залежить стан зору, нервової системи людини та безпека на виробництві.

Санітарні норми вимагають використання природного освітлення приміщень, тому що воно збільшує захисні функції організму, стимулює й нормалізує роботу різних його систем, що покращить працездатність працівників

В денний період часу варто використовувати природне освітлення виробничого приміщення.

Робота з обслуговування обладнання відноситься до загального спостереження за технологічним процесом. Обладнання працює в 3 зміни, виробництво безперервне.

Розрахунок освітлення будемо виконувати для темного часу доби, тому застосовуємо тільки загальну освітленість люмінесцентними лампами ЛДЦ-40, потужністю 40 Вт, з світловим потоком  $F=2100$  лм і освітленістю  $E_{\phi}=100$  лк.

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загальне рівномірне освітлення горизонтальної поверхні при світильниках будь-якого типу буде розраховано за методом коефіцієнта використання світлового потоку.

Світловий потік лампи накаливання:

$$F=8300 \text{ лм} .$$

Визначивши світловий потік однієї лампи, вибираємо лампу ДРИ потужністю 125 Вт, світловим потоком  $F=8300$  лм (з відхиленням від розрахункового світлового потоку на 8%, що допускається при напрузі 220 В).

Тоді фактична освітленість буде  $E_{\phi}=200$  лк, що і відповідає ДБНВ 2.5.28-2006. Лампи накаливання вибираємо з тієї причини, що у виробництві є деталі обертання. Може спостерігатись стробоскопічний ефект при освітленні світильниками.

#### Виробничий шум

Джерелами шуму на установці є:

- транспортери;
- електродвигуни;
- виробничий шум.

$$L = 98 \text{ дБА}$$

Рівень звукового тиску (дБ) в октавних смугах частот, рівні звуку і еквівалентні рівні звуку (дБА) для постійних робочих місць при працюючій установці не перевищують допустимих величин, установлених за ДСН 3.3.6.037-99 і дорівнюють 70 дБА.

Рівні звукового тиску знижуються за допомогою встановлених на установці захисних кожухів і екрану, що знижує звуковий тиск на персонал.

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



## Пожежна безпека

Стійкість будинку за СНІП 2.01.02-85 відповідає степені вогнестійкості II.  
Згідно ПУЕ клас зони установки 2.

Серед причин, що можуть викликати загорання, найбільше ймовірними є такі:

- несправність електроустаткування;
- струми короткого замикання і навантаження кабелів живлення;
- загорання ізоляції електропроводки;
- використання вогню в неналежному місці.

Запобігання загорання забезпечується такими мірами:

- дотримання технологічних норм і правил експлуатації;
- паління тільки у відведених для цього місцях;
- своєчасне проведення інструктажу з техніки безпеки серед обслуговуючого персоналу;
- організація агітації по протипожежній безпеці;

Для гасіння невеликих ділянок загорання при відключеному електроустаткуванні застосовують вуглекисневі вогнегасники ОУ-5 (3 шт.) згідно ГОСТ 8050-85. Для гасіння включених електромереж приймаємо порошкові вогнегасники ОП-10 (3 шт.) згідно ГОСТ 30612-99.

У приміщенні, де розташовується установка, на відстані 30 метрів друг від друга повинні бути встановлені пожежні гідранти з рукавами довжиною до 10 метрів. Відстань до пожежного виходу повинна бути не більш 40 метрів.

Кількість виходів - не менш двох. Ширина прорізу двері евакуиходу - 2 метри. Двері евакуиходу повинні відкриватись назовні.

Захист навколишнього середовища забезпечується наявністю витяжного устаткування. Продукти надходять на підприємство в герметичних контейнерах.

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 5. Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкцій

### 5.1. Параметричний розрахунок насадкової ректифікаційної колони

**5.1.1. Розрахунок аналітичним методом ректифікаційну установку безперервної дії для розділення суміші етанова кислота – ацетон за такими вихідними даними:**

масова продуктивність колони за вихідною сумішшю $L_F$ , кг/год	8000;
масова частка НКК(етанова кислота) у початковій суміші $\bar{x}_F$	0,35;
у дистиляті $\bar{x}_p$	0,93;
у кубовому залишку $\bar{x}_w$	0,05;

тип колони – насадкова;

Тиск у колоні – атмосферний.

Температури, °C:

початкової суміші $t_1$	19;
зберігання продуктів на складі $t_2$	25.

Флегма й початкова суміш підводяться до колони, підігрітими до температури кипіння. Суміш не містить механічних домішок і не полімеризується.

Алгоритм розрахунку наведено [10, 126 – 141с]

Схема до розрахунку насадкової ректифікаційної колони на рисунку 5.1

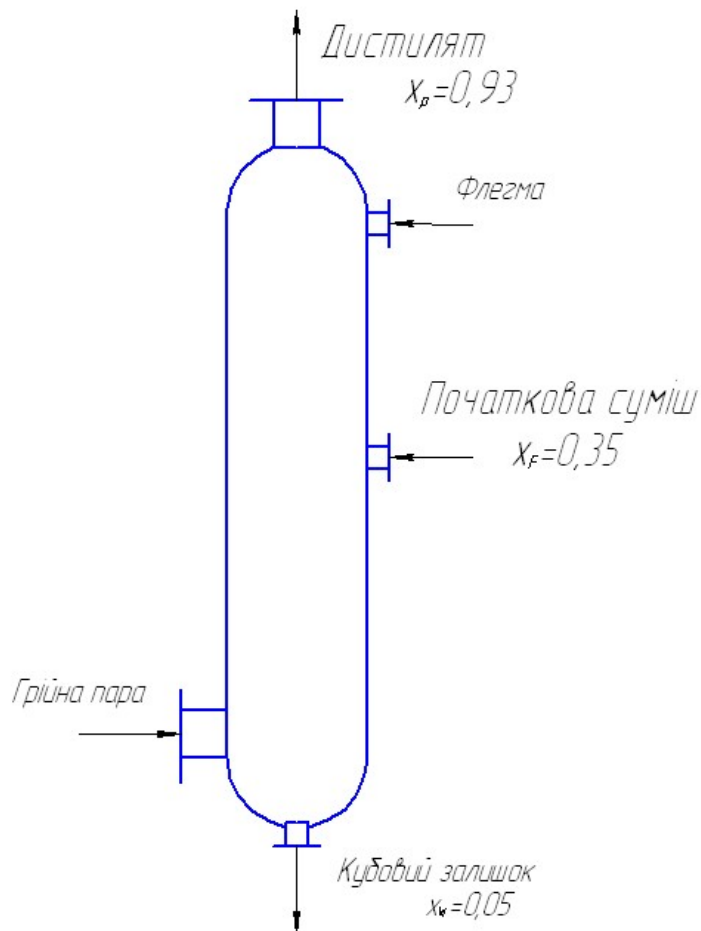


Рисунок 5.1 – Розрахункова схема руху потоків у ректифікаційній колоні.

### 5.1.2 Мета та основні завдання розрахунку

Метою розрахунку є визначення геометричних розмірів насадкової колони та її гідравлічного пору.

Поставлена мета досягається через визначення:

продуктивності колони за дистиллятом і кубовим залишком;

робочих швидкостей пари ВКК;

теоретичної і дійсної кількості ступенів зміни концентрації.

Метою теплового розрахунку є визначення витрат грійної пари та охолодженої води.

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 5.1.3 Розрахунок

За експериментальними даними будуємо діаграму рівноваги  $y^*=f(x)$  (рисунок. 5.2) і діаграму  $x, y-t$  для бінарної суміші етанова кислота – ацетон (рисунок. 5.3).

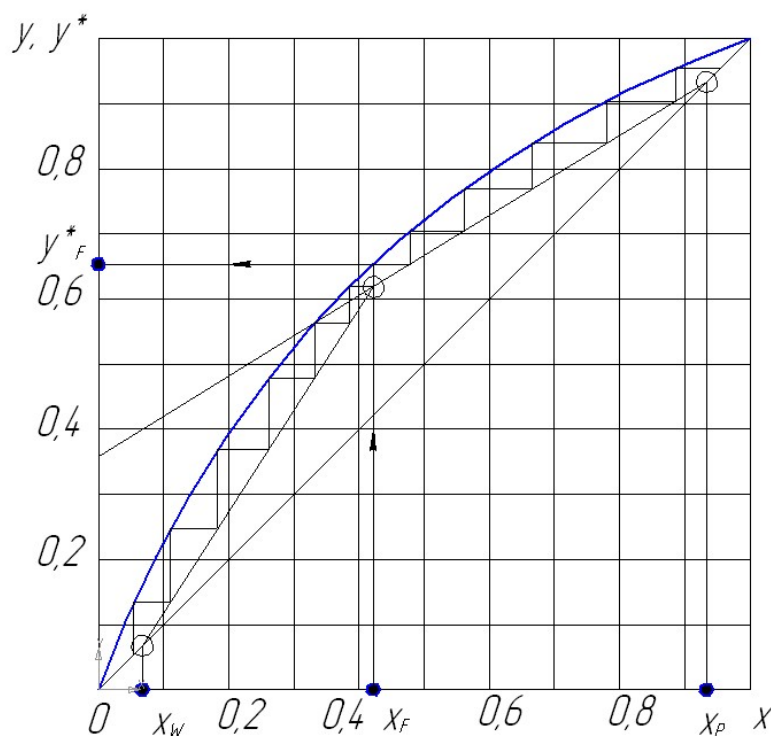


Рисунок 5.2. – Діаграма рівноваги  $y^*=f(x)$  бінарної суміші етанова кислота – ацетон, коли тиск  $p = 0.1013$  МПа

Крива рівноваги  $y^*=f(x)$  має опуклу форму без точок зміни кривини. Азеотропна точка відсутня.

Розрахунок ведемо аналітичним методом для ідеальних бінарних сумішей в умовах незначної зміни потоків по висоті колони.

#### 5.1.3.1 Матеріальний баланс колони й визначення флегмового числа

Визначаємо масову продуктивність колони:

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

За початковою сумішшю, кг/с:

$$L_F = \frac{L'_F}{3600} = \frac{8000}{3600} = 2,222$$

За кубовим залишком, кг/с:

$$L_W = L_F \frac{\bar{x}_P - \bar{x}_F}{\bar{x}_P - \bar{x}_W} = 2,222 \cdot \frac{0,93 - 0,35}{0,93 - 0,05} = 1,465$$

За дистилятом, кг/с:

$$L_P = L_F - L_W = 2,222 - 1,465 = 0,758$$

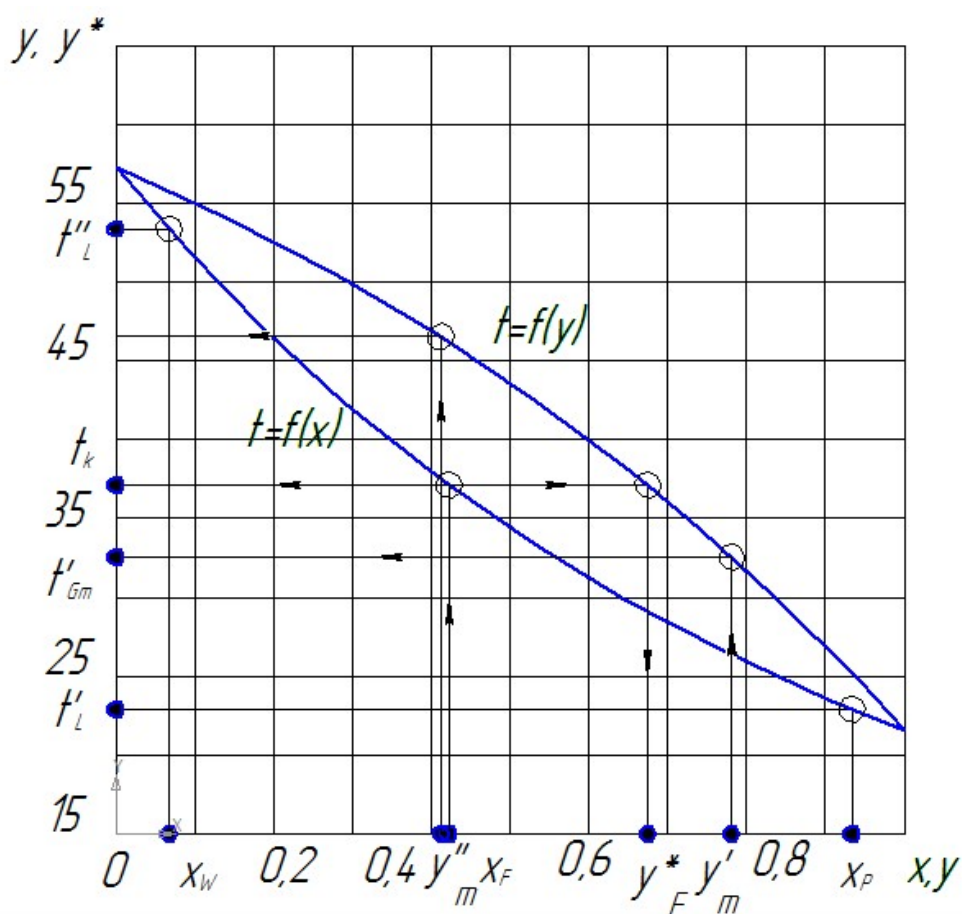


Рисунок 5.3. – Діаграма  $x, y-t$  бінарної суміші етанова кислота – ацетон, коли тиск  $p = 0.1013$  МПа

Молярні маси компонентів суміші :

для етанової кислоти

$$M_{HK} = 44,05 \text{ кг/кмоль};$$

для ацетону

$$M_{BK} = 58,08 \text{ кг/кмоль}$$

для подальших розрахунків виразимо концентрації живлення дистиляту в кубовому залишку в молярних частках, за загальною формулою:

живлення :

$$x_F = \frac{\frac{\bar{x}_F}{M_{HK}}}{\frac{\bar{x}_F}{M_{HK}} + \frac{1 - \bar{x}_F}{M_{BK}}} = \frac{\frac{0,35}{44,05}}{\frac{0,35}{44,05} + \frac{1 - 0,35}{58,08}} = 0,415;$$

дистилят:

$$x_P = \frac{\frac{\bar{x}_P}{M_{HK}}}{\frac{\bar{x}_P}{M_{HK}} + \frac{1 - \bar{x}_P}{M_{BK}}} = \frac{\frac{0,93}{44,05}}{\frac{0,93}{44,05} + \frac{1 - 0,93}{58,08}} = 0,946$$

кубовий залишок:

$$x_W = \frac{\frac{\bar{x}_W}{M_{HK}}}{\frac{\bar{x}_W}{M_{HK}} + \frac{1 - \bar{x}_W}{M_{BK}}} = \frac{\frac{0,05}{44,05}}{\frac{0,05}{44,05} + \frac{1 - 0,05}{58,08}} = 0,065$$

Відносна молярна витрата живлення:

За діаграмою  $x, y-t$  для бінарної суміші етанова кислота – ацетон (рисунок 5.2) визначаємо температуру кипіння суміші початкової концентрації  $x_F = 0.415$ :  
 $t_k = 37.5 \text{ } ^\circ\text{C}; T_k + 273 = 310.5 \text{ K}.$

З табл.1.1 температури кипіння компонентів:

Етанової кислоти  $t_{HK} = 20.6 \text{ } ^\circ\text{C}$

Ацетону  $t_{BK} = 56 \text{ } ^\circ\text{C}$

Розраховуємо коефіцієнт активності:

$$\begin{aligned} \lg \alpha &= \frac{t_{AE} - t_{HK}}{T_K} \cdot (3,9871 + 0,00194 \cdot T_K) = \\ &= \frac{56 - 20.6}{313.15} \cdot (3,9871 + 0,00194 \cdot 310.5) = 0.525 \end{aligned}$$

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

звідки  $\alpha = 2.87$ .

Рівноважна концентрація НКК у парі:

$$y_F^* = \frac{\alpha \cdot x_F}{1 + (\alpha - 1)x_F} = \frac{2,87 \cdot 0,415}{1 + (2,87 - 1) \cdot 0,415} = 0,671$$

(Аналогічний результат можна отримати й графічно за рисунком 5.2 або рисунком 5.3).

Розраховуємо флегмове число:

Мінімальне :

$$R_{\min} = \frac{x_P - y_F^*}{y_F^* - x_F} = \frac{0,946 - 0,671}{0,671 - 0,415} = 1,077$$

Робоче:

$$R = 1,3 \cdot R_{\min} + 0,3 = 1,3 \cdot 1,077 + 0,3 = 1,7$$

Рівняння робочих ліній:

Для верхньої частини колони:

$$y' = \frac{R}{R+1} x' + \frac{x_P}{R+1} = \frac{1,7}{1,7+1} x' + \frac{0,946}{1,7+1};$$

для нижньої частини колони:

$$y' = \frac{R+f}{R+1} x'' + \frac{f-1}{R+1} x_W = \frac{1,7+2,515}{1,7+1} x'' + \frac{2,515-1}{1,7+1} \cdot 0,065;$$

### 5.1.3.2 Витрати рідини в колоні

Молярна маса живлення, кг/кмоль:

$$M_F = x_F \cdot M_{НК} + (1 - x_F) \cdot M_{БК} = 0,415 \cdot 44,05 + (1 - 0,415) \cdot 58,08 = 52,255$$

Середні концентрації рідини:

Для верхньої частини колони:

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$x'_m = \frac{x_F + x_P}{2} = \frac{0,415 + 0,946}{2} = 0,681$$

для нижньої частини колони:

$$x''_m = \frac{x_F + x_W}{2} = \frac{0,415 + 0,065}{2} = 0,24$$

Середні молярні маси рідини визначаються:

У верхній частині колони, кг/кмоль:

$$M'_{Lm} = x'_m \cdot M_{HK} + (1 - x'_m) M_{BK} = 0,681 \cdot 44,05 + (1 - 0,681) \cdot 58,08 = 48,531$$

У нижній частині колони, кг/кмоль:

$$M''_{Lm} = x''_m \cdot M_{HK} + (1 - x''_m) M_{BK} = 0,24 \cdot 44,05 + (1 - 0,24) \cdot 58,08 = 54,712$$

Середні масові витрати рідини:

у верхній частині колони, кг/с:

$$L' = R \cdot L_P \frac{M'_{Lm}}{M_{HK}} = 1,7 \cdot 0,758 \cdot \frac{48,531}{44,05} = 1,419$$

у нижній частині колони, кг/с:

$$L'' = R \cdot L_P \frac{M''_{Lm}}{M_{HK}} + L_F \frac{M''_{Lm}}{M_F} = 1,7 \cdot 0,758 \cdot \frac{54,712}{44,05} + 2,222 \frac{54,712}{52,255} = 3,926$$

### 5.1.3.3 Витрати пари в колоні

Середні концентрації пари знаходимо з рівнянь робочих ліній

для верхньої частини колони:

$$y'_m = \frac{1,7}{1,7+1} x'_m + \frac{0,946}{1,7+1} = \frac{1,7}{1,7+1} \cdot 0,681 + \frac{0,946}{1,7+1} = 0,779;$$

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



для нижньої частини колони:

$$y''_m = \frac{1,7 + 2,515}{1,7 + 1} x''_m + \frac{2,515 - 1}{1,7 + 1} \cdot 0,065 = \frac{1,7 + 2,515}{1,7 + 1} 0,24 + \frac{2,515 - 1}{1,7 + 1} \cdot 0,065 = 0,411.$$

Середні молярні маси пари:

у верхній частині колони, кг/кмоль:

$$M'_{Gm} = y'_m \cdot M_{HK} + (1 - y'_m) \cdot M_{BK} = 0,779 \cdot 44,05 + (1 - 0,779) \cdot 58,08 = 47,152$$

в нижній частині колони, кг/кмоль:

$$\begin{aligned} M''_{Gm} &= y''_m \cdot M_{HK} + (1 - y''_m) \cdot M_{BK} = \\ &= 0,411 \cdot 44,05 + (1 - 0,411) \cdot 58,08 = 52,311 \end{aligned}$$

Середні масові потоки:

у верхній частині колони, кг/с:

$$G' = L_p(R + 1) \frac{M'_{Gm}}{M_{HK}} = 0,758 \cdot (1,7 + 1) \frac{47,152}{44,05} = 2,189$$

в нижній частині колони, кг/с:

$$G'' = L_p(R + 1) \frac{M''_{Gm}}{M_{HK}} = 0,758 \cdot (1,7 + 1) \frac{52,311}{44,05} = 2,429$$

#### 5.1.3.4 Визначення температурного режиму колони

За діаграмою  $x, y-t$  (див. рисунок 5.2) температура рідині у верхній частині колони, коли  $x_p = y_p = 0,946$ ,  $t'_L = 20,6^\circ\text{C}$ , температура рідини в кубі-випарнику, коли  $x_w = 0,065$ ,  $t''_L = 55,2^\circ\text{C}$ .

Середню температуру пари в колоні визначаємо за лінією конденсації діаграми  $x, y-t$  (див. рис.1.2).

Для верхньої частини колони, коли  $y'_m = 0,779$ ,  $t'_{Gm} = 32,5^\circ\text{C}$ , для нижньої частини колони, коли  $y''_m = 0,411$ ,  $t''_{Gm} = 48^\circ\text{C}$ .

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 5.1.3.5 Визначення теплофізичних властивосте й рідини

Оскільки у верхній частині колони впливом на густину рідини вмісту ВКК (ацетону) можна знехтувати, густину рідини будемо визначати за густиною рідкої етанової кислоти, коли  $t'_L = 20,6 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\rho'_{Lm} = 1050 \text{ кг/м}^3$ .

У нижній частині колони можна знехтувати впливом густини вмісту НКК (етанової кислоти), а густину рідини визначити за густиною рідкого ацетону, тому, коли  $t''_L = 55,2 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\rho''_{Lm} = 1011 \text{ кг/м}^3$

В'язкість рідкої етанової кислоти складає,

коли  $t'_L = 20,6 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\mu'_{LHK} = 1,220 \text{ мПа} \cdot \text{с}$ ;

коли  $t''_L = 55,2 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\mu''_{LHK} = 0,750 \text{ мПа} \cdot \text{с}$ .

В'язкість рідкого ацетону складає,

коли  $t'_L = 20,6 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\mu'_{LBK} = 0,320 \text{ мПа} \cdot \text{с}$ ;

коли  $t''_L = 55,2 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\mu''_{LBK} = 0,315 \text{ мПа} \cdot \text{с}$ .

В'язкість суміші взаємонерозчинених рідин у верхній і нижній частинах колони знаходимо. Для верхньої частини колони,  $\text{мПа} \cdot \text{с}$ :

$$\mu'_L = 10^{x'_m \cdot \lg \mu'_{HK} + (1-x'_m) \cdot \lg \mu'_{BK}} = 10^{0,681 \cdot \lg 1,220 + (1-0,681) \lg 0,320} = 0,796$$

для нижньої частини колони,  $\text{мПа} \cdot \text{с}$

$$\mu''_L = 10^{x''_m \cdot \lg \mu''_{HK} + (1-x''_m) \cdot \lg \mu''_{BK}} = 10^{0,24 \cdot \lg 0,750 + (1-0,24) \lg 0,315} = 0,315$$

### 5.1.3.6 Визначення теплофізичних властивостей пари

Середню густину пари визначаємо:

У верхній частині колони,  $\text{кг/м}^3$ :

$$\rho'_{Gm} = \frac{M'_{Gm} \cdot T_0}{22,4 \cdot T'_{Gm}} = \frac{47,152 \cdot 273}{22,4 \cdot (32,5 + 273)} = 1,859$$

у нижній частині колони,  $\text{кг/м}^3$ :

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

$$\rho''_{Gm} = \frac{M''_{Gm} \cdot T_0}{22,4 \cdot T''_{Gm}} = \frac{52,311 \cdot 273}{22,4 \cdot (48 + 273)} = 1,986$$

В'язкість пари етанової кислоти складає,

коли  $t'_G = 32,5 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\mu'_{GHK} = 7,1 \cdot 10^{-3} \text{ мПа} \cdot \text{с}$ ;

коли  $t''_G = 48 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\mu''_{GHK} = 7,43 \cdot 10^{-3} \text{ мПа} \cdot \text{с}$ .

В'язкість пари ацетону складає,

коли  $t'_L = 32,5 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\mu'_{LBK} = 7,16 \cdot 10^{-3} \text{ мПа} \cdot \text{с}$ ;

коли  $t''_L = 48 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\mu''_{LBK} = 7,49 \cdot 10^{-3} \text{ мПа} \cdot \text{с}$ .

Середню в'язкість пари в колоні розраховуємо за формулою окремо для кожної частини колоні.

Для верхньої частини колоні, мПа · с :

$$\mu'_{Gm} = \frac{M'_{Gm}}{\frac{y'_m \cdot M_{HK}}{\mu'_{G_{HK}}} + \frac{(1 - y'_m) \cdot M_{BK}}{\mu'_{G_{BK}}}} = \frac{47,152}{\frac{0,779 \cdot 44,05}{7,1 \cdot 10^{-3}} + \frac{(1 - 0,779) \cdot 58,08}{7,16 \cdot 10^{-3}}} = 7,116 \cdot 10^{-3};$$

для нижньої частини колоні, мПа · с :

$$\mu''_{Gm} = \frac{M''_{Gm}}{\frac{y''_m \cdot M_{HK}}{\mu''_{G_{HK}}} + \frac{(1 - y''_m) \cdot M_{BK}}{\mu''_{G_{BK}}}} = \frac{52,311}{\frac{0,411 \cdot 44,05}{7,43 \cdot 10^{-3}} + \frac{(1 - 0,411) \cdot 58,08}{7,49 \cdot 10^{-3}}} = 7,116 \cdot 10^{-3};$$

### 5.1.3.7 Визначаємо діаметр колоні

Об'ємні витрати пари визначаємо:

у верхній частині колоні, м<sup>3</sup>/с :

$$V' = \frac{G'}{\rho'_{Gm}} = \frac{2,189}{1,859} = 1,178$$

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

у нижній частині колони,  $\text{м}^3/\text{с}$  :

$$V'' = \frac{G''}{\rho''_{Gm}} = \frac{2,429}{1,986} = 1,223 .$$

Для подальших розрахунків необхідно вибрати насадки. За вказаною модернізацією, яка базується на вдосконаленні вибираємо регулярну цепну насадку з такими параметрами:

питома поверхня насадок  $f_H = 121 \text{ м}^2/\text{м}^3$

вільний об'єм  $V_f = 0,73 \text{ м}^2/\text{м}^3$

Еквівалентний діаметр насадок, м:

$$d_e = 4 \cdot \frac{V_f}{f_H} = 4 \cdot \frac{0,73}{121} = 0,024$$

Оптимальну щільність зрошення насадок оцінюємо,  $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$  :

$$U'_{opt} = 1,8 \cdot 10^{-5} \cdot f_H = 1,8 \cdot 10^{-5} \cdot 121 = 1,721 \cdot 10^{-3}$$

Визначаємо діаметр верхньої частини колони. З цією метою спочатку розрахуємо допоміжні величини для формули

$$\begin{aligned} a' &= -0,125 - 1,75 \cdot \left( \frac{R}{R+1} \right)^{0,25} \cdot \left( \frac{\rho'_{Gm}}{\rho'_{Lm}} \right)^{0,125} = \\ &= -0,125 - 1,75 \cdot \left( \frac{1,7}{1,7+1} \right)^{0,25} \cdot \left( \frac{1,859}{1050} \right)^{0,125} = -0,831; \end{aligned}$$

$$b' = \frac{\rho'_{Gm} \cdot f_H \cdot (\mu'_L)^{0,16}}{\rho'_{Lm} \cdot g \cdot V_f^3} = \frac{1,859 \cdot 121 \cdot (0,796)^{0,16}}{1050 \cdot 9,81 \cdot 0,73^3} = 0,054.$$

Швидкість пари у верхній частині колони за умов захлинання,  $\text{м}/\text{с}$  :

$$w'_0 = 10^{0,5(\alpha' - \lg(b'))} = 10^{0,5(-0,831 - \lg(0,054))} = 1,651$$

Робоча швидкість пари у верхній частини колони,  $\text{м}/\text{с}$  :

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

$$w'_G = 0,95 \cdot w'_0 = 0,95 \cdot 1,209 = 1,569.$$

Розрахунковий діаметр верхньої частини колони, м:

$$D' = \sqrt{\frac{4 \cdot V'}{3,14 \cdot w'_G}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,173}{3,14 \cdot 1,569}} = 0,978$$

За ГОСТ 9617 приймаємо стандартний діаметр верхньої частини колони  
 $D'_C = 1 \text{ м}$

Дійсна щільність зрошення:

$$U' = \frac{4 \cdot L'}{3,14 \cdot D'^2_C \cdot \rho'_{Lm}} = \frac{4 \cdot 1,419}{3,14 \cdot 1^2 \cdot 1050} = 2,178 \cdot 10^{-3}$$

Перевіряємо співвідношення щільностей зрошення:

$$\frac{U'}{U'_{opt}} = \frac{2,178 \cdot 10^{-3}}{1,721 \cdot 10^{-3}} = 1,265$$

що більше, ніж 1,1, тобто вибрані насадки зрошуються повністю

визначаємо діаметр нижньої частини колони. Допоміжні величини:

$$\begin{aligned} a' &= -0,125 - 1,75 \cdot \left( \frac{R}{R+1} \right)^{0,25} \cdot \left( \frac{\rho''_{Gm}}{\rho''_{Lm}} \right)^{0,125} = \\ &= -0,125 - 1,75 \cdot \left( \frac{1,7}{1,7+1} \right)^{0,25} \cdot \left( \frac{1,986}{1011 \cdot 10^3} \right)^{0,125} = -1,023; \end{aligned}$$

$$b' = \frac{\rho'_{Gm} \cdot f_H \cdot (\mu''_L)^{0,16}}{\rho''_{Lm} \cdot g \cdot V_f^3} = \frac{1,986 \cdot 121 \cdot (0,315)^{0,16}}{1011 \cdot 9,81 \cdot 0,73^3} = 0,052.$$

Швидкість пари в нижній частині колони за умов заклинання, м/с :

$$w''_0 = 10^{0,5 \cdot (\alpha'' - \lg(b''))} = 10^{0,5 \cdot (-1,023 - \lg(0,052))} = 1,354.$$

Робоча швидкість пари в нижній частині колони ( $k=0,78$ ), м/с :

$$w''_G = 0,95 \cdot w''_0 = 0,95 \cdot 1,354 = 1,286$$

Розрахунковий діаметр нижньої частини колони, м:

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

$$D'' = \sqrt{\frac{4 \cdot V''}{3,14 \cdot w''_G}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,223}{3,14 \cdot 1,286}} = 1,024$$

За ГОСТ 9617 приймаємо стандартний діаметр нижньої частини колони  
 $D'_C = 1 \text{ м}$

Дійсна щільність зрошення:

$$U'' = \frac{4 \cdot L''}{3,14 \cdot D''_C{}^2 \cdot \rho''_{Lm}} = \frac{4 \cdot 3,926}{3,14 \cdot 1^2 \cdot 1011} = 4,947 \cdot 10^{-3}$$

Перевіряємо співвідношення щільностей зрошення:

$$\frac{U''}{U''_{opt}} = \frac{4,947 \cdot 10^{-3}}{1,721 \cdot 10^{-3}} = 2,875$$

що більше, ніж 1,1, тобто вибрані насадки зрошуються повністю.

Уточнена фіктивна швидкість пари, віднесена до повного перерізу незаповненої колони,

у верхній частині колони:

$$w'_C = \frac{4 \cdot V'}{3,14 \cdot D'_C{}^2} = \frac{4 \cdot 1,178}{3,14 \cdot 1^2} = 1,5$$

у нижній частині колони:

$$w''_C = \frac{4 \cdot V''}{3,14 \cdot D''_C{}^2} = \frac{4 \cdot 1,223}{3,14 \cdot 1^2} = 1,558$$

#### 5.1.3.8 Розрахунок кількості ступенів зміни концентрації

Розраховуємо теоретичну кількість ступенів зміни концентрації у верхній частині колони. З цієї метою обчислюємо допоміжні величини:

$$a' = 0,5 \left( 1 + \frac{a}{(a-1) \cdot R} - \frac{Y_P}{R} \right) = 0,5 \left( 1 + \frac{2,87}{(2,87-1) \cdot 1,7} - \frac{0,946}{1,7} \right) = 0,673;$$

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

$$b' = \frac{Y_p}{(a-1) \cdot R} = \frac{0,946}{(2,87-1) \cdot 1,7} = 0,298;$$

$$c' = a' + \sqrt{a'^2 - b'} = 0,673 + \sqrt{0,673^2 - 0,298} = 1,068$$

$$d' = a' - \sqrt{a'^2 - b'} = 0,673 - \sqrt{0,673^2 - 0,298} = 0,279;$$

$$\alpha' = 1 + \frac{(a-1) \cdot (c' - d')}{1 + (a-1) \cdot d'} = 1 + \frac{(2,87-1) \cdot (1,068 - 0,279)}{1 + (2,87-1) \cdot 0,279} = 1,97.$$

Тоді теоретична кількість ступенів зміни концентрації для верхньої частини колоні:

$$N'_T = \frac{\lg \left( \frac{y_p - d'}{c' - y_p} \cdot \frac{c' - x_F}{x_F - d'} \right)}{\lg \alpha'} = \frac{\lg \left( \frac{0,946 - 0,279}{1,068 - 0,946} \cdot \frac{1,068 - 0,415}{0,415 - 0,279} \right)}{\lg 1,97} = 4,82$$

Розраховуємо допоміжні величини :

$$\varepsilon = \frac{x_F - x_W}{y_p - x_W} = \frac{0,415 - 0,065}{0,946 - 0,065} = 0,398$$

$$R'' = - \left( 1 + \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon} (1 + R) \right) = - \left( 1 + \frac{0,398}{1 - 0,398} (1 + 1,7) \right) = -2,782$$

$$a'' = 0,5 \left( 1 + \frac{a}{(a-1) \cdot R''} - \frac{x_W}{R''} \right) = 0,5 \left( 1 + \frac{2,87}{(2,87-1) \cdot 1,7} - \frac{0,065}{1,7} \right) = 0,236;$$

$$b'' = \frac{x_W}{(a-1) \cdot R''} = \frac{0,065}{(2,87-1) \cdot (-2,782)} = -0,012;$$

$$c'' = a'' + \sqrt{a''^2 - b''} = 0,236 + \sqrt{0,236^2 + 0,012} = 0,497$$

$$d'' = a'' - \sqrt{a''^2 - b''} = 0,236 - \sqrt{0,236^2 + 0,012} = -0,025;$$

$$\alpha'' = 1 + \frac{(a-1) \cdot (c'' - d'')}{1 + (a-1) \cdot d''} = 1 + \frac{(2,87-1) \cdot (0,497 + 0,025)}{1 + (2,87-1) \cdot (-0,025)} = 2,024.$$

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Тоді теоретична кількість ступенів зміни концентрації для кожної частини колони:

$$N''_T = \frac{\lg \left( \frac{x_F - d''}{c'' - x_F} \cdot \frac{c'' - x_W}{x_W - d''} \right)}{\lg \alpha''} = \frac{\lg \left( \frac{0,415 + 0,025}{0,497 - 0,415} \cdot \frac{0,497 - 0,065}{0,065 + 0,025} \right)}{\lg 2,024} = 4,617$$

Теоретична кількість ступенів зміни концентрації для верхньої і нижньої частини також можна визначити графічно. Загальний коефіцієнт корисної дії насадки:

для верхньої частини колони:

$$\eta' = 0,49(\mu'_L \cdot \alpha)^{-0,245} = 0,49(0,796 \cdot 2,87)^{-0,245} = 0,478;$$

для нижньої частини колони:

$$\eta'' = 0,49(\mu''_L \cdot \alpha)^{-0,245} = 0,49(0,315 \cdot 2,87)^{-0,245} = 0,561;$$

Для верхньої частини колони:

$$N' = \frac{N'_T}{\eta'} = \frac{4,82}{0,478} = 10,086;$$

Для нижньої частини колони:

$$N'' = \frac{N''_T}{\eta''} = \frac{4,617}{0,561} = 8,235.$$

### 5.1.3.9 Визначення висоти колони

Середнє значення тангенса кута нахилу кривої рівноваги знаходимо шляхом зміни кривої рівноваги ламаною, яка має n=11 прямолінійних частин з тангенсами кутів нахилу  $m_i$ . Тоді для верхньої і нижньої частини колони

$$m = \frac{1}{i} \sum_{i=0}^{10} m_i, \text{ а } m_i = \frac{\alpha}{(1 + (\alpha - 1)x_i)^2}$$

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50



Причому для верхньої частини колони  $x_i$  буде знаходитися в межах  $[x_F; x_P]$ , а для нижньої – в межах  $[x_W; x_F]$ .

Результати розрахунку середнього значення тангенса кута нахилу кривої рівноваги зведено до таблиці 5.1.

Допоміжна величина  $K$ ,

для верхньої частини колони:

$$K' = \frac{\lg \frac{R}{(R+1)m'}}{1 - \frac{m' \cdot (R+1)}{R}} = \frac{\lg \frac{1,7}{(1,7+1) \cdot 0,648}}{1 - \frac{0,648 \cdot (1,7+1)}{1,7}} = 0,428$$

для нижньої частини колони:

$$K' = \frac{\lg \frac{R+f}{(R+1)m''}}{1 - \frac{m' \cdot (R+1)}{R+f}} = \frac{\lg \frac{1,7+2,515}{(1,7+1) \cdot 1,602}}{1 - \frac{1,602 \cdot (1,7+1)}{1,7+2,515}} = 0,429$$

Таблиця 5.1 Результати розрахунку середнього значення тангенса кута нахилу кривої рівноваги

i	Верхня частина		Нижня частина	
	$x'_i$	$m'_i$	$x''_i$	$m''_i$
0	0,415	0,91	0,065	2,282
1	0,468	0,816	0,1	2,037
2	0,521	0,736	0,135	1,83
3	0,574	0,668	0,170	1,652
4	0,627	0,60	0,205	1,5
5	0,680	0,556	0,240	1,367
6	0,733	0,511	0,275	1,252

Продовження таблиці 5.1

7	0,786	0,47	0,310	1,15
8	0,839	0,435	0,345	1,06
9	0,892	0,403	0,380	0,981
10	0,945	0,375	0,415	0,91
Сума	—	6,482	—	16,026

Таким чином,  $m' = 0,648$ , а  $m'' = 1,602$

Значення критерію Рейнольдса парової фази

Для верхньої частини колони:

$$Re'_G = \frac{4 \cdot w'_c \cdot \rho'_{Gm}}{\mu'_{Gm} \cdot f_H} = \frac{4 \cdot 1,5 \cdot 1,859}{7,116 \cdot 10^{-3} \cdot 121} = 10980;$$

Для нижньої частини колони:

$$Re''_G = \frac{4 \cdot w''_c \cdot \rho''_{Gm}}{\mu''_{Gm} \cdot f_H} = \frac{4 \cdot 1,558 \cdot 1,986}{7,469 \cdot 10^{-3} \cdot 121} = 11760;$$

Висота насадок, еквівалентна до одиниці переносу:

для верхньої частини колони:

$$\begin{aligned} h'_e &= 5,31 \cdot K' \cdot d_e \cdot Re'^{0,2}_G \left( \frac{G'}{L'} \right)^{0,342} \left( \frac{\rho'_{Lm}}{\rho'_{Gm}} \right)^{0,19} \left( \frac{\mu'_{Gm}}{\mu'_{Lm}} \right)^{0,038} = \\ &= 5,31 \cdot 0,428 \cdot 0,024 \cdot 10980^{0,2} (1,543)^{0,342} (113,169)^{0,19} (0,022)^{0,038} = 0,869; \end{aligned}$$

для нижньої частини колони:

$$\begin{aligned} h''_e &= 5,31 \cdot K'' \cdot d_e \cdot Re''^{0,2}_G \left( \frac{G''}{L''} \right)^{0,342} \left( \frac{\rho''_{Lm}}{\rho''_{Gm}} \right)^{0,19} \left( \frac{\mu''_{Gm}}{\mu''_{Lm}} \right)^{0,038} = \\ &= 5,31 \cdot 0,429 \cdot 0,024 \cdot 11760^{0,2} (0,619)^{0,342} (108,825)^{0,19} (0,043)^{0,038} = 0,657 \end{aligned}$$

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахункова висота шару насадок:

У верхній частині колони

$$H'_p = N' \cdot h'_e = 10,086 \cdot 0,869 = 8,761;$$

В нижній частині колони:

$$H''_p = N'' \cdot h''_e = 8,235 \cdot 0,657 = 5,413.$$

Максимальна висота шару насадок між перерозподільними тарілками в одній секції,

верхньої частини колони, м:

$$H' = 3D'_c = 3;$$

нижньої частини колони, м:

$$H'' = 3D''_c = 3;$$

Кількість секцій

Верхньої частини колони:

$$n' = \left( \frac{H'_p}{H'} + 0,55 \right) = 4$$

нижньої частини колони:

$$n'' = \left( \frac{H''_p}{H''} + 0,55 \right) = 2$$

Загальна кількість секцій насадок:

$$n = n' + n'' = 4 + 2 = 6$$

Загальна висота шару насадок, м:

$$H_n = n' \cdot H' + n'' \cdot H'' = 4 \cdot 3 + 2 \cdot 3 = 18$$

Висота вільного простору над насадками у верхній частині колони, коли  $D'_c = 1$  м,  $z_g = 0,6$  м. Висота вільного простору під насадками в нижній частині

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

колони, коли  $D''_c = 1 \text{ м}$ ,  $z_n = 1,5 \text{ м}$ . Висота перерозподільних тарілок верхньої й нижньої частини  $h'_t$  і  $h''_t$  приймаємо рівними 1 м, а висоту тарілки  $h_{tF} = 0,5 \text{ м}$ .

Тоді загальна висота колони, м:

$$H_k = H_H + h'_t(n'-1) + h''_t(n''-1) + h_{tF} + z_\epsilon + z_n = \\ = 18 + 1(4-1) + 1(2-1) + 0,5 + 0,6 + 1,5 = 24,6.$$

Висновок: За проведенням розрахунком загальна висота колони сягає 24,6 м, простір під насадку 18 м, поділений на 6 секцій.

## 5.2 Розрахунок гідравлічних опорів

Вихідні данні беремо з (5.1)

Алгоритм розрахунку наведено [10, 141 – 142с]

Дійсна (робоча) швидкість пари

у верхній частині колони м/с :

$$w'_p = \frac{w'_c}{V_f} = \frac{1,5}{0,73} = 2,055$$

у нижній частині колони, м/с :

$$w''_p = \frac{w''_c}{V_f} = \frac{1,5558}{0,73} = 2,134 .$$

Для укладених кілець рядами, коефіцієнт опору складатиме:

для верхньої частини колони:

$$\lambda' = \frac{9,21}{(Re'_G)^{0,375}} = \frac{9,21}{(10980)^{0,375}} = 0,264;$$

для нижньої частини колони:

$$\lambda'' = \frac{9,21}{(Re''_G)^{0,375}} = \frac{9,21}{(11760)^{0,375}} = 0,259;$$

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тоді гідравлічний опір насадок:

для верхньої частини колони, Па :

$$\Delta p'_c = \frac{\lambda' \cdot H'_c}{d_e} \cdot \frac{\rho'_{Gm} \cdot w'^2_p}{2} = \frac{0,269 \cdot 9}{0,024} \cdot \frac{1,859 \cdot 2,055^2}{2} = 387,07;$$

для нижньої частини колони, Па :

$$\Delta p''_c = \frac{\lambda'' \cdot H''_c}{d_e} \cdot \frac{\rho''_{Gm} \cdot w''^2_p}{2} = \frac{0,259 \cdot 9}{0,024} \cdot \frac{1,986 \cdot 2,134^2}{2} = 436,55;$$

Гідравлічний опір зрошених насадок:

для верхньої частини колони, Па :

$$\Delta p'_{zp} = \Delta p'_c (1 + 0,04 \cdot U') = 387,07 \cdot (1 + 0,04 \cdot 1,721 \cdot 10^{-3} \cdot 3600) = 482,917;$$

для нижньої частини колони, Па :

$$\Delta p''_{zp} = \Delta p''_c (1 + 0,04 \cdot U'') = 436,55 (1 + 0,04 \cdot 4,947 \cdot 10^{-3} \cdot 3600) = 747,53;$$

Загальний гідравлічний опір зрошених насадок в колоні, Па :

$$\Delta p_k = \Delta p'_{zp} + \Delta p''_{zp} = 482,917 + 747,53 = 1230,447 .$$

Висновок: За приведеними розрахунками було отримано загальний гідравлічний опір зрошеної насадки.

### 5.3 Тепловий розрахунок

Алгоритм розрахунку наведено [10, 142 – 145с]

Визначаємо кількість теплоти, яку необхідно підвести в паровому нагрівнику для нагрівання початкової суміші з масовою часткою НКК  $\bar{x}_F = 0,35$  від температури  $t_1 = 19^\circ\text{C}$  до температури кипіння  $t_k = 40^\circ\text{C}$ .

Середня температура початкової суміші в паровому нагрівнику.  $^\circ\text{C}$  :

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$t_{Fm} = \frac{t_1 + t_k}{2} = 29,5$$

Питома теплоємність НКК (етанової кислоти) за цієї температури  $c_{нк} = 2,181 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ , а питома теплоємність ВКК (ацетону)  $c_{вк} = 2,355 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ . Тоді середня питома теплоємність початкової суміші, коли її температура  $t_{Fm} = 29,5^\circ\text{C}$ , визначиться за формулою адитивності,  $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ :

$$c_F = c_{нк} \cdot \bar{x}_F + c_{вк} (1 - \bar{x}_F) = 2,181 \cdot 0,35 + 2,355 \cdot (1 - 0,35) = 2,294 .$$

Тепловий потік у нагрівнику початкової суміші, кВт:

$$Q_F = L_F \cdot c_F (t_k - t_1) = 2,222 \cdot 2,294 \cdot (40 - 19) = 107 .$$

Температура грійної пари  $t_{гп}$  приймаємо на  $50^\circ\text{C}$  вищою, ніж температура кипіння суміші  $t_k$ . Тоді температура грійної пари,  $^\circ\text{C}$ :

$$t_{гп} = t_k + 50 = 40 + 50 = 90 .$$

Цій температурі відповідає абсолютний тиск грійної пари  $p_{гп} = 0,413 \text{ МПа}$  і питома теплота пароутворення  $r_{гп} = 2131 \text{ кДж}/\text{кг}$  .

Приймаємо, що теплові втрати в нагрівнику складають 5% від корисно витраченої теплоти, а відносна вологість грійної пари  $\varphi = 0,05$  . Тоді ступінь сухості грійної пари

$$x = 1 - \varphi = 1 - 0,05 = 0,95$$

а витрата грійної пари в нагрівнику початкової суміші,  $\text{кг}/\text{с}$ :

$$G_{гп} = \frac{1,05 Q_F}{x \cdot r_{гп}} = \frac{1,05 \cdot 107,058}{0,95 \cdot 2131} = 0,056$$

Визначаємо кількість теплоти, яку необхідно підвести в кубі колони.

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Питома теплота пароутворення компонентів суміші за температури у верхній частині колони  $t_L=20,6$  °С: етанової кислоти  $r'_{\text{нк}} = 384,5$  кДж/кг; ацетону  $r'_{\text{вк}} = 489,2$  кДж/кг.

Тоді питома теплота пароутворення флегми, кДж/кг :

$$r_{\phi} = r'_{\text{нк}} \bar{x}'_p + r'_{\text{вк}} (1 - \bar{x}'_p) = 384,5 \cdot 0,93 + 489,2 (1 - 0,93) = 392$$

За даними визначаємо питомі теплоємності компонентів суміші за температури кипіння  $t_k$  й середніх температур у верхній  $t'_L$  і нижній  $t''_L$  частинах колони. Одержані дані наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2. Питомі теплоємності компонентів суміші

Компоненти	Питома теплоємність, кДж/кг, за температурами		
	$t'_L$	$t_k$	$t''_L$
НKK(етанова кислота)	2,001	2,103	2,181
ВKK(цетон)	2,181	2,242	2,285

Питомі теплоємності сумішей, обчислені за формулами адитивності, кДж/(кг · К):

$$c_p = c_{\text{нк}} \bar{x}_p + c_{\text{вк}} (1 - \bar{x}_p) = 2,001 \cdot 0,93 + 2,181 \cdot (1 - 0,93) = 2,014$$

Початкової суміші, кДж/(кг · К):

$$c_F = c_{\text{нк}} \bar{x}_F + c_{\text{вк}} (1 - \bar{x}_F) = 2,103 \cdot 0,35 + 2,242 \cdot (1 - 0,35) = 2,193$$

Кубового залишку, кДж/(кг · К)

$$c_W = c_{\text{нк}} \bar{x}_W + c_{\text{вк}} (1 - \bar{x}_W) = 2,181 \cdot 0,05 + 2,285 \cdot (1 - 0,05) = 2,28$$

Питома ентальпія пари НKK, що виходить з колони, кДж/кг :

$$i_p = r_{\phi} + c_p \cdot t'_L = 392 + 2,014 \cdot 20,6 = 437$$

Тепловий потік в кубі колони, кВт :

$$Q_k = L_w (c_w \cdot t''_L - c_F \cdot t_k) + L_p \cdot R \cdot r_\phi + L_p (i_p - c_F \cdot t_k) = \\ = 1,465(129,516 - 91,764) + 504,542 + 0,758(437 - 91,764) = 821,384.$$

Приймаємо, що теплові втрати в нагрівнику складають 3% від корисно витраченої теплоти. Тоді витрата грійної пари в нагрівній парі в нагрівнику кубової рідини, кг/с :

$$G_k = \frac{1,03 Q_k}{x \cdot r_{гр}} = \frac{1,03 \cdot 821,384}{0,95 \cdot 2131} = 0,418$$

Тепловий потік в дефлегматорі колони, кг/с :

$$Q_\phi = L_p (R + 1) \cdot r_\phi = 0,758(1,7 + 1) \cdot 392 = 801,5$$

Визначаємо кількість теплоти, яку необхідно відвести у водяному холодильнику дистиляту, для охолодження продукту від температури кипіння  $t'_L = 80,4^\circ\text{C}$  до температури  $t_2 = 15^\circ\text{C}$ , з якою він зберігатиметься на складі.

Середня температура дистиляту у водяному холодильнику,  $^\circ\text{C}$  :

$$t_{pm} = \frac{t'_L + t_2}{2} = \frac{20,6 + 15}{2} = 17,8.$$

Питома теплоємність НКК (етанової кислоти) за цієї температури  $c_{нк} = 1,948 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ , а питома теплоємність ВКК (ацетону)  $c_{вк} = 2,151 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ . Тоді середня питома теплоємність дистиляту, коли його температура  $t_{pm} = 22,8^\circ\text{C}$ , визначається за формулою адитивності,  $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$  :

$$c_p = c_{нк} \bar{x}_p + c_{вк} (1 - \bar{x}_p) = 1,948 \cdot 0,93 + 2,151 \cdot (1 - 0,93) = 1,962$$

Тоді тепловий потік у водяному холодильнику дистиляту, кВт:

$$Q_p = L_p \cdot c_p (t'_L - t_2) = 0,758 \cdot 1,962 (20,6 - 15) = 8,325 \text{ кВт}$$

Визначаємо кількість теплоти, яку необхідно відвести у водяному холодильнику кубового залишку, для охолодження продукту від температури

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



кипіння  $t''_L = 55,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  до температури  $t_2 = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , з якою він зберігається на складі.

Середня температура дистилату у водяному холодильнику,  $^{\circ}\text{C}$ :

$$t_{wm} = \frac{t''_L + t_2}{2} = \frac{55,2 + 15}{2} = 35,1$$

Питома теплоємність НКК(етанової кислоти) за цієї температури  $c_{нк} = 2,052\text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ , а питома теплоємність ВКК (ацетону)  $c_{вк} = 2,226\text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ . Тоді середня питома теплоємність кубового залишку, коли його температура  $t_{wm} = 35,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , визначається за формулою, кВт:

$$Q_p = L_w \cdot c_w (t''_L - t_2) = 1,465 \cdot 2,217 (55,2 - 15) = 130,552$$

Приймаючи, що підвищення температури води у водяних холодильниках складає  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а середня питома теплоємність води в інтервалі від  $20$  до  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $c_{нк} = 4,190\text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$  обчислюємо сумарну витрату води, кг/с:

$$G_b = \frac{Q_{\phi} + Q_p + Q_w}{c_b \Delta t} = \frac{801,5 + 8,325 + 130,552}{4,190 \cdot 20} = 11,22$$

Висновок: За проведеними розрахунками було визначено сумарну витрату води та середню питому теплоємність кубового залишку.

## 5.4 Вибір штуцерів

Метою розрахунку є вибір стандартних штуцерів за тиском і діаметром умовного проходу.

Алгоритм розрахунку наведено [11, 16 – 17с.]

Вихідні дані:

Витрата флегми $L_{\phi}$ , кг/с	1,288;
витрата рідини нижньої частини колони $L_w$ , кг/с	1,465;

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

витрата початкової суміші $L_F$ , кг/с	2,222;
витрата пари верхньої частини колони (дистилляту) $G'$ , кг/с	2,189;
витрата рідини нижньої частини колони (грійної пари) $G''$ , кг/с	2,429;
густина рідини верхньої частини колони $\rho'_{Lm}$ , кг/м <sup>3</sup>	1050;
густина рідини нижньої частини колони $\rho''_{Lm}$ , кг/м <sup>3</sup>	1011;
густина пари верхньої частини колони $\rho'_{Gm}$ , кг/м <sup>3</sup>	1,859;
густина пари нижньої частини колони $\rho''_{Gm}$ , кг/м <sup>3</sup>	1,986.

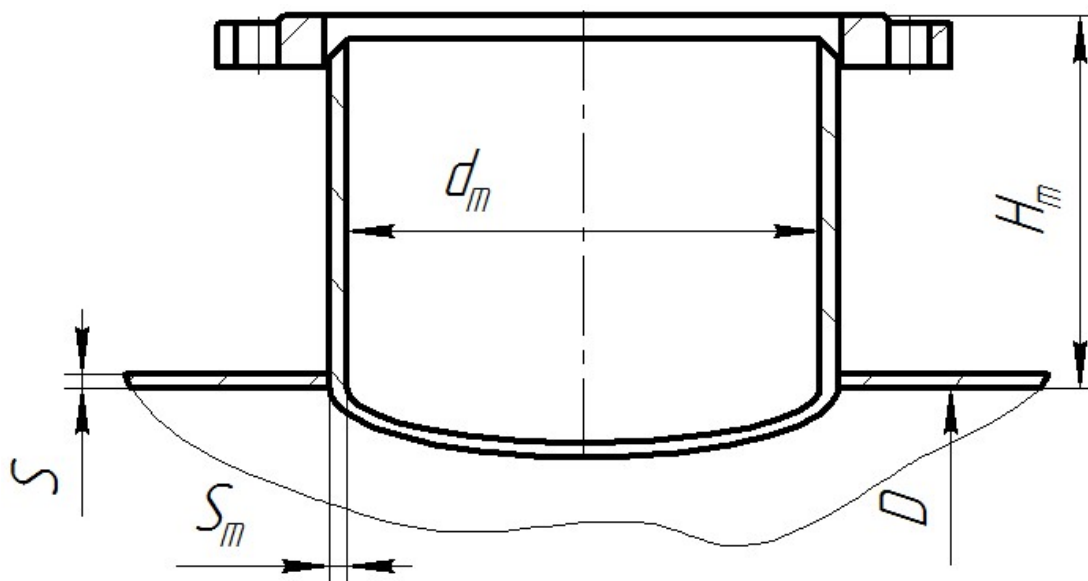


Рисунок 5.5 – Схема до розрахунку штуцера

Прийmemo швидкість рідини в штуцерах 1,5 м/с

Прийmemo швидкість пари в штуцерах 17 м/с.

Діаметр патрубкa для вводу флегми знаходиться за формулою, м:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot L_\phi}{\pi \cdot \rho'_{Lm} \cdot \omega_p}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,419}{3,14 \cdot 1050 \cdot 1,5}} = 0,062,$$

згідно з рекомендаціями [11] приймаємо d=80 мм, H=150 мм, S=4 мм.

Діаметр патрубкa для виводу кубового залишку знаходиться за формулою, м:

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot L_W}{\pi \cdot \rho''_{Lm} \cdot \omega_p}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,465}{3,14 \cdot 1011 \cdot 1,5}} = 0,049,$$

згідно з рекомендаціями [11] приймаємо d=50 мм, H=150 мм, S=4 мм.

Діаметр патрубку для виводу дистилляту знаходиться за формулою, м:

$$d_3 = \sqrt{\frac{4 \cdot G'}{\pi \cdot \rho'_{Gm} \cdot \omega_z}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,189}{3,14 \cdot 1,859 \cdot 17}} = 0,291,$$

згідно з рекомендаціями [11] приймаємо d=300 мм, H=180 мм, S=10 мм.

Діаметр патрубку для вводу грійної пари знаходиться за формулою, м:

$$d_4 = \sqrt{\frac{4 \cdot G''}{\pi \cdot \rho''_{Gm} \cdot \omega_z}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,429}{3,14 \cdot 1,986 \cdot 17}} = 0,297,$$

згідно з рекомендаціями [11] приймаємо d=300 мм, H=180 мм, S=10 мм.

Діаметр патрубку для вводу початкової суміші знаходиться за формулою, м:

$$d_5 = \sqrt{\frac{4 \cdot L_F}{\pi \cdot \rho'_{Lm} \cdot \omega_p}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,222}{3,14 \cdot 1050 \cdot 1,5}} = 0,075,$$

згідно з рекомендаціями [11] приймаємо d=80 мм, H=150 мм, S=4 мм.

Тоді швидкість флегми у штуцері:

$$\omega_1^{um} = \frac{4 \cdot L_\phi}{\pi \cdot d_1^2 \cdot \rho'_{Lm}} = \frac{4 \cdot 1,288}{3,14 \cdot 0,08^2 \cdot 1050} = 1,48 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Тоді швидкість флегми у штуцері:

$$\omega_2^{um} = \frac{4 \cdot L_W}{\pi \cdot d_2^2 \cdot \rho''_{Lm}} = \frac{4 \cdot 1,465}{3,14 \cdot 0,05^2 \cdot 1011} = 1,623 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Тоді швидкість флегми у штуцері:

$$\omega_3^{um} = \frac{4 \cdot G'}{\pi \cdot d_3^2 \cdot \rho'_{Gm}} = \frac{4 \cdot 1,288}{3,14 \cdot 0,08^2 \cdot 1,859} = 16,663 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Тоді швидкість флегми у штуцері:

$$\omega_4^{um} = \frac{4 \cdot G''}{\pi \cdot d_4^2 \cdot \rho''_{Gm}} = \frac{4 \cdot 2,189}{3,14 \cdot 0,08^2 \cdot 1050} = 17,3 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Тоді швидкість флегми у штуцері:

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

$$\omega_5^{um} = \frac{4 \cdot L_F}{\pi \cdot d_5^2 \cdot \rho'_{Lm}} = \frac{4 \cdot 2,222}{3,14 \cdot 0,08^2 \cdot 1050} = 1,58 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Висновок: За приведеними розрахунками були підібрані штуцери для кожної частини колони.

### 5.5 Розрахунок товщини стінки циліндричної обичайки

Метою даного розрахунку є визначення товщини стінки циліндричної обичайки і перевірка її на міцність.

Алгоритм розрахунку наведено [12]

Схема до розрахунку обичайки приведена на рисунку 5.6

Вхідні дані:

тиск всередині апарата $P$ , МПа	0,1;
внутрішній діаметр апарата $D_z$ , м	1;
допустиме напруження для матеріалу обичайки (сталь 08X18H10T ) $[\sigma]$ , МПа	140.

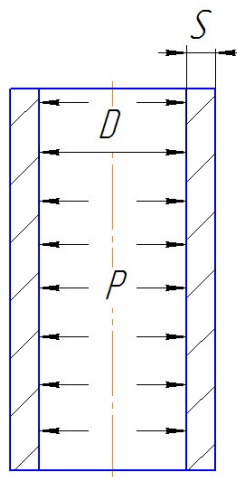


Рисунок 5.6 – Схема товщини стінки обичайки

Методика проведення даного розрахунку складена згідно ГОСТ 14249-89 і передбачає розрахунок товщини обичайки лише від дії внутрішнього тиску.

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

Номінальна товщина стінки циліндричної обичайки, м:

$$S' = \frac{D_{\phi} \cdot P}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_{\phi} - P} \quad (5.1)$$

де  $\varphi_{\phi}$  - коефіцієнт міцності зварних швів.

Приймаємо  $S' = 14$  мм – рекомендована мінімальна товщина стінки для даного діаметра.

Виконавча товщина стінки посудини, мм:

$$S = S' + \tilde{n}_1 + c_2 + c_3, \quad (5.2)$$

де,  $C_1$  – прибавка на компенсацію корозії

$C_2$ - прибавка на компенсацію мінусового допуску до товщини листа;

$C_3$ – технологічна прибавка.

Допустимий тиск в обичайці, МПа :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_{\phi} \cdot (S - c)}{D_{\phi} + (S - c)} \quad (5.3)$$

Блок–схема, таблиця, ідентифікатори та програма розрахунку у додатку Б

Результати розрахунку,  $[P] = 3,969$

Перевіряємо умову міцності, МПа:

$$P \leq [P],$$
$$0,1 \leq 3,969.$$

Висновок: через те, що умови застосування формул виконуються, а допустимий внутрішній надлишковий тиск більший за розрахунковий, то приймаємо товщину стінки  $S = 14$  мм.

## 5.6 Розрахунок еліптичного днища під дією внутрішнього надлишкового тиску

Метою даного розрахунку є визначення товщини кришки та перевірка виконання умови міцності.

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Алгоритм розрахунку наведено [12]

Схема до розрахунку еліптичної кришки приведена на рисунку 5.7.

Вихідні дані:

тиск всередині апарата $P$ , МПа	0,1;
внутрішній діаметр апарата $D_e$ , м	1;
допустиме напруження для матеріалу обичайки (сталь 08X18H10T ) $[\sigma]$ , МПа	140.

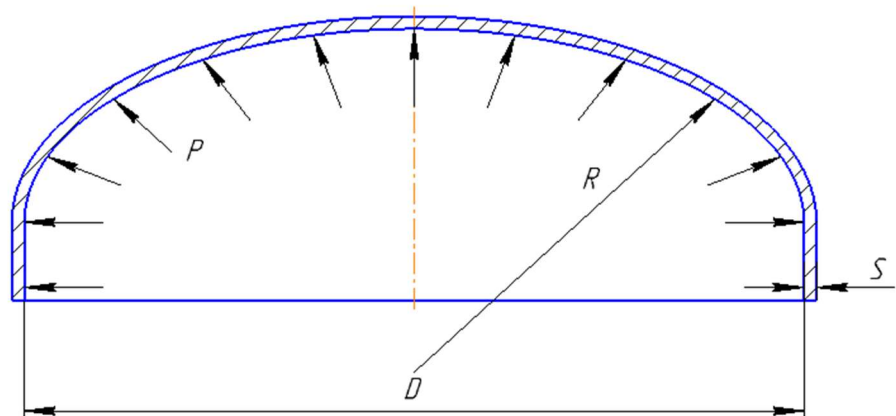


Рисунок 5.7 - Схема до розрахунку еліптичної кришки

Методику розрахунку ведемо згідно [6].

Товщина стінки еліптичної кришки, м:

$$S' = \frac{D_b \cdot P}{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi_{ш} - 0.5 \cdot P} = \frac{1 \cdot 0,1}{2 \cdot 140 \cdot 0,9 - 0,5 \cdot 0,1} = 3,97 \cdot 10^{-4}.$$

Приймаємо  $S_R = 14$  мм – рекомендована мінімальна товщина стінки для даного діаметра .

Виконавча товщина стінки еліптичної кришки, мм:

$$S = S' + c = 14 + 1 = 15.$$

Обчислюємо висоту еліптичної частини днища та радіус кривизни при вершині днища, м:

$$H = 0,25 \cdot D = 0,25 \cdot 1 = 0,25.$$

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

Допустимий тиск в еліптичній кришці, МПа:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_{ш} \cdot (S - c)}{D_b + (S - c)} = \frac{2 \cdot 140 \cdot (17 - 1) \cdot 10^{-3}}{1 + (17 - 1) \cdot 10^{-3}} = 3,97.$$

Перевіряємо умову міцності, МПа:

$$p \leq [p],$$

$$0,1 \text{ МПа} \leq 3,97.$$

Вибираємо днище:  $D_b = 1000 \text{ мм}$ ,  $h_b = 250 \text{ мм}$ ,  $h = 25 \text{ мм}$ .

Висновки: Умова виконується, міцність забезпечена

### 5.7 Перевірочний розрахунок фланцевих з'єднань з плоских приварених фланців.

Схема фланцевого з'єднання наведена на рисунок 5.8.

Алгоритм розрахунку наведено [13, 62 – 68]

Розрахунок проводимо згідно методики наведеної в [14], складена згідно норм за ОСТ 26-373-78 і передбачає визначення навантажень на кріпильні деталі, обчислення напружень у кріпильних деталях і порівняння їх з допустимими, знаходження напруження в найбільш небезпечних перерізах фланців та порівняння їх з допустимими та перевірку фланців на жорсткість за умовою герметичності.

Попередній геометричний розрахунок:

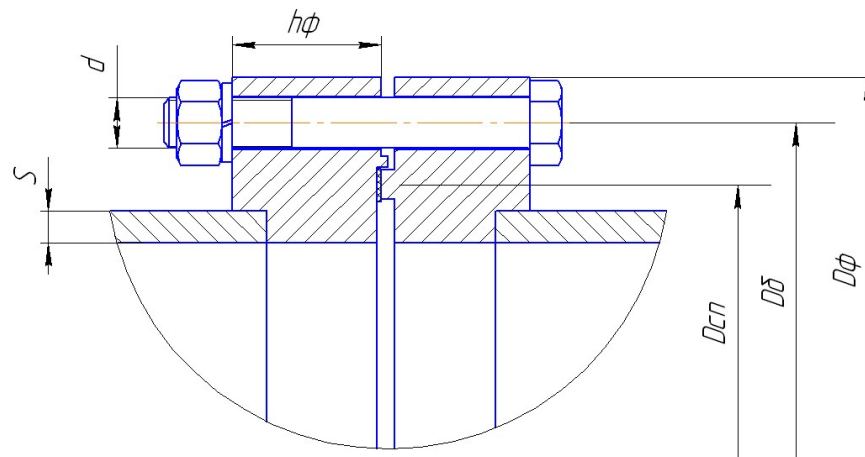


Рисунок 5.8 – Схема фланцевого з'єднання

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

Метою розрахунку є вибір та перевірочний розрахунок фланців для забезпечення з'єднання корпусу апарата з розподільною камерою, а також герметичність з'єднання.

Вибір стандартних фланців здійснюємо згідно із [14].

Вихідні дані:

Геометричні параметри фланця:

внутрішній діаметр, $D$ , м	1;
діаметр фланця, $D_{\text{ф}}$ , м	1,145;
діаметр болтового кола, $D_{\text{Б}}$ , м	1,105;
товщина фланця, $h_{\text{ф1}}$ , м	0,065;
товщина фланця, $h_{\text{ф2}}$ , м	0,065;
параметри прокладки	
зовнішній діаметр прокладки, $D_{\text{п}}$ , м	1,065;
ширина прокладки, $b$ , м	0,014;
товщина прокладки, $h$ , м	0,002;
матеріал прокладки	Пароніт ГОСТ 28759-90;
допустиме питоме навантаження, $q$ , МПа	130;
коефіцієнт, $m$	2,5;
модуль пружності матеріалу прокладки, $E_{\text{пр}}^{\text{т}}$ , МПа	200;
матеріал фланців	12Х18Н10Т;
допустиме напруження, $[\sigma]_{\text{ф}}^{20}$ , МПа	160;
допустиме напруження, $[\sigma]_{\text{ф}}^{\text{т}}$ , МПа	196;
модуль пружності, $E_{\text{ф}}^{\text{т}}$ , МПа	$1,89 \cdot 10^5$ ;
коефіцієнт відносного лінійного розширення, $\alpha_{\text{ф}}^{\text{т}}$ , $\text{K}^{-1}$	$16,6 \cdot 10^{-6}$ ;
внутрішній тиск, $P_{\text{тр}}$ , МПа	0,1;
кількість болтів, $z_{\text{Б}}$	44;



діаметр різьби болта, $d_B$ , м	0,022;
внутрішній діаметр, $d_{0B}$ , м	0,023;
мінімальне питоме навантаження, $q_B$ , МПа	20;
допустиме напруження, $[\sigma]_B^{20}$ , МПа	160;
допустиме напруження, $[\sigma]_B^T$ , МПа	153;
модуль пружності, $E_B^t$ , МПа	$1,93 \cdot 10^5$ ;
коефіцієнт відносного лінійного розширення, $\alpha_B^t$ , $K^{-1}$	$16,6 \cdot 10^{-6}$ .

На підставі проведених розрахунків вибираємо стандартний фланець згідно ГОСТ 28759-90 і знаючи його геометричні параметри, а також механічні властивості матеріалу фланців та матеріалу болтів запишемо початкові дані для перевірного розрахунку фланцевого з'єднання:

Далі опишемо результати розрахунків, що містять елементи порядку розрахунку.

### 5.7.1 Розрахунок допоміжних величин

Відношення більшої товщини втулки до меншої:

$$\beta = 1$$

Середній діаметр прокладки, м

$$D_{cp} = D_{\pi} - b = 1,065 - 0,0145 = 1,05 ,$$

де  $D_{\pi}$  - зовнішній діаметр прокладки, м;

$b$  - ширина прокладки, м.

Ефективна ширина прокладки, м

$$b_E = 0,06 \cdot \sqrt{b} = 0,06 \cdot \sqrt{0,0145} = 0,00725.$$

Конструктивний коефіцієнт для фланців

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K = \frac{D_{\Phi}}{D} = \frac{1,55}{1,4} = 1,107$$

Конструктивний коефіцієнт для фланців

$$\lambda_{\Phi 1} = \frac{h_{\Phi 1}}{\sqrt{D \cdot S_0}} = \frac{0,065}{\sqrt{1 \cdot 0,016}} = 0,514,$$

$$\lambda_{\Phi 2} = \frac{h_{\Phi 2}}{\sqrt{D \cdot S_0}} = \frac{0,065}{\sqrt{1 \cdot 0,016}} = 0,514,$$

Поправкові коефіцієнти для фланців:

$$\psi_{1\Phi} = 1,28 \cdot \lg K_{\Phi} = 1,28 \cdot \lg 1,145 = 0,075,$$

$$\psi_{2\Phi} = \frac{K_{\Phi} + 1}{K_{\Phi} - 1} = \frac{1,145 + 1}{1,145 - 1} = 14,793,$$

Поправковий коефіцієнт для перерізу  $S_0$ :

$$\psi_3 = 1$$

Геометричні параметри фланців:

$$j_{\Phi 1} = \frac{h_{\Phi 1}}{S_0} = \frac{0,065}{0,016} = 4,063,$$

$$j_{\Phi 2} = \frac{h_{\Phi 2}}{S_0} = \frac{0,065}{0,016} = 4,063.$$

Безрозмірні параметри фланців:

$$T_{\Phi} = \frac{K_{\Phi}^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg K_{\Phi}) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot K_{\Phi}^2) \cdot (K_{\Phi} - 1)} = \frac{1,145^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg 1,45) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot 1,45^2)(1,45 - 1)} = 1,859,$$

$$\omega_{\Phi 1} = \left(1 + 0,9 \cdot \lambda_{\Phi 1} \cdot (1 + \psi_{1\Phi} \cdot j_{\Phi 1}^2)\right)^{-1} = (1 + 0,9 \cdot 0,514 \cdot (1 + 0,075 \cdot 4,063^2))^{-1} = 0,491,$$

$$\omega_{\Phi 2} = \left(1 + 0,9 \cdot \lambda_{\Phi 2} \cdot (1 + \psi_{1\Phi} \cdot j_{\Phi 2}^2)\right)^{-1} = (1 + 0,9 \cdot 0,514 \cdot (1 + 0,075 \cdot 4,063^2))^{-1} = 0,491$$

Кутова піддатливість фланців,  $\frac{1}{\text{МН} \cdot \text{м}}$

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$y_{\phi 1} = \frac{(1 - \omega_{\phi 1} \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 1})) \cdot \psi_{2\phi}}{h_{\phi 1}^3 \cdot E_{\phi 1}} = \frac{(1 - 0,491 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,514)) \cdot 14,793}{0,065^3 \cdot 2 \cdot 10^5} = 0,076 ,$$

$$y_{\phi 2} = \frac{(1 - \omega_{\phi 2} \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 2})) \cdot \psi_{2\phi}}{h_{\phi 2}^3 \cdot E_{\phi 2}} = \frac{(1 - 0,491 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,514)) \cdot 14,793}{0,065^3 \cdot 2 \cdot 10^5} = 0,076 .$$

Розрахункова довжина болтів фланцевого з'єднання, м:

$$L_B = h_{\phi 1} + h_{\phi 2} + h + 0,28 \cdot d_B = 0,065 + 0,065 + 0,002 + 0,28 \cdot 0,022 = 0,138 .$$

Лінійна піддатливість прокладки,  $\frac{\text{м}}{\text{МН}}$ :

$$y_{\pi} = \frac{h}{\pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b \cdot E_{\pi}} = \frac{0,002}{3,14 \cdot 1,145 \cdot 0,0145 \cdot 2000} = 2,09 \cdot 10^{-5} .$$

Площа поперечного перерізу болта,  $\text{м}^2$

$$f_B = 0,785 \cdot d_0^2 = 0,785 \cdot 0,02^2 = 3,257 \cdot 10^{-4}$$

Лінійна піддатливість болтів,  $\text{м/МН}$

$$y_B = \frac{L_B}{E_B \cdot f_B \cdot z_B} = \frac{0,138}{2 \cdot 10^5 \cdot 3,257 \cdot 10^{-4} \cdot 44} = 4,82 \cdot 10^{-5} \frac{\text{м}}{\text{МН}}$$

Параметр жорсткості фланцевого з'єднання,  $\frac{\text{МН}}{\text{м}}$ :

$$A_{\phi} = \left( y_{\pi} + y_B + 0,25 \cdot (y_{\phi 1} + y_{\phi 2}) \cdot (D_B - D_{\text{сп}})^2 \right)^{-1} =$$

$$= (2,09 \cdot 10^{-5} + 4,82 \cdot 10^{-5} + 0,25 \cdot (0,076 + 0,76) \cdot (1,105 - 1,05)^2)^{-1} = 5497 .$$

Параметри жорсткості фланців,  $\text{І/МН}$

$$B_{\phi 1} = y_{\phi 1} \cdot (D_B - D - S_0) = 0,076 \cdot (1,105 - 1 - 0,016) = 0,0068 ,$$

$$B_{\phi 2} = y_{\phi 2} \cdot (D_B - D - S_0) = 0,076 \cdot (1,105 - 1 - 0,016) = 0,0068 .$$

Безрозмірний коефіцієнт фланцевого з'єднання

$$\gamma = A_{\phi} \cdot y_B = 5497 \cdot 4,82 \cdot 10^{-5} = 0,265$$

Безрозмірний коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

$$\alpha_{\phi} = A_{\phi} \cdot \left( y_{\text{Б}} + 0,25(B_{\phi 1} + B_{\phi 2})(D_{\text{Б}} - D_{\text{сп}}) \right) =$$

$$= 5497 \cdot (4,82 \cdot 10^{-5} + 0,25 \cdot (0,0068 + 0,0068) \cdot (1,105 - 1,05)) = 1,278.$$

### 5.7.2 Розрахунок болтів

Рівнодіюча зовнішнього тиску, МН:

$$Q_g = 0,785 \cdot D_{\text{сп}}^2 \cdot p = 0,785 \cdot 1,05^2 \cdot 0,1 = 0,084$$

Реакція прокладки в робочих умовах, МН:

$$R_{\text{п}} = 2 \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_{\text{Е}} \cdot m \cdot p = 2 \cdot 3,14 \cdot 1,05 \cdot 0,00725 \cdot 2,5 \cdot 0,1 = 0,012.$$

Зусилля, що виникає від температурної деформації фланцевого з'єднання, МН:

$$Q_{\text{тф}} = \gamma \cdot z_{\text{Б}} \cdot f_{\text{Б}} \cdot E_{\text{Б}} (\alpha'_{\phi} \cdot t_{\phi} - \alpha'_{\text{Б}} \cdot t_{\text{Б}}) =$$

$$= 0,265 \cdot 44 \cdot 36257 \cdot 10^{-4} \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot (16,6 \cdot 10^{-6} \cdot 40 - 16,6 \cdot 10^{-6} \cdot 36,2) =$$

$$= 0,076,$$

Монтажне болтове навантаження фланцевого з'єднання за різних умов розрахунку, МН :

$$P'_{\text{Б1}} = \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_{\text{Е}} \cdot q = 3,14 \cdot 1,05 \cdot 0,00725 \cdot 20 = 0,479,;$$

$$P''_{\text{Б1}} = \alpha_{\phi} \cdot (Q_g + P) + R_{\text{п}} = 1,278 \cdot (0,084 + 0,1) + 0,012 = 0,247 ;$$

$$P'''_{\text{Б1}} = 0,4 \cdot [\sigma_{\text{Б}}]^{20} \cdot z_{\text{Б}} \cdot f_{\text{Б}} = 0,4 \cdot 153 \cdot 44 \cdot 3,257 \cdot 10^{-4} = 0,877.,$$

де  $q$  - мінімальний тиск на прокладку, який забезпечує герметичність з'єднання,  
 $q = 20$  МПа;

$[\sigma_{\text{Б}}]^{20}$  - границя міцності матеріалу болтів при температурі  $20^{\circ}\text{C}$ ,  
 $[\sigma_{\text{Б}}]^{20} = 153$  МПа .

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахункове навантаження на болти, МН:

Оскільки  $p \leq 0,6$  МПа, то

$$P_{Б1} = \max(P'_{Б1}; P''_{Б1}; P'''_{Б1}) = \max(0,479; 0,247; 0,877) = 0,877..$$

Умова міцності прокладки:

$$\frac{P_{Б1}}{\pi \cdot D_{сп} \cdot b} \leq [q].$$

$$\frac{0,479}{3,14 \cdot 1,05 \cdot 0,0145} = 18,329 \leq 130,$$

де  $[q]$  - допустиме питоме навантаження зминання прокладки,  $[q] = 130$  МПа.

Болтове навантаження за робочих умов, МН

$$\begin{aligned} P_{Б2} &= P_{Б1} + (1 - \alpha_{\Phi}) \cdot (Q_g + P) + Q_{t\Phi} = \\ &= 0,877 + (1 - 1,278) \cdot (1,327 + 0,1) + 0,076 = 0,902 \end{aligned}$$

Розрахункове навантаження на болти, МН:

$$P_{Б\Phi} = \max(P_{Б1}; P_{Б2}) = \max(0,877; 0,902) = 0,902$$

Напруження розтягання в болтах за умов монтажу, МПа:

$$\sigma_{Б}^{20} = \frac{P_{Б1}}{z_{Б} \cdot f_{Б}} = \frac{0,877}{44 \cdot 3,257 \cdot 10^{-4}} = 61,2.$$

Напруження розтягання в болтах за робочих умов, МПа:

$$\sigma_{Б}^t = \frac{P_{Б2}}{z_{Б} \cdot f_{Б}} = \frac{0,902}{44 \cdot 3,257 \cdot 10^{-4}} = 62,92.$$

Скручуючий момент, що виникає від розтягування гайок, МН · м :

$$M_{скр} = f_1 \cdot \frac{P_{Б\Phi}}{z_{Б}} \cdot d_{Б} = 0,1 \cdot \frac{0,902}{44} \cdot 0,022 = 3,25 \cdot 10^{-5}$$

Дотичне напруження в болтах, МПа:

$$\tau_{Б} = \frac{M_{скр}}{0,2 \cdot d_0^3} = \frac{3,25 \cdot 10^{-5}}{0,2 \cdot 0,02^3} = 19,226$$

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Еквівалентні напруження в болтах, МПа

$$\sigma_{BE}^{20} = \sqrt{(\sigma_B^{20})^2 + 3 \cdot \tau_B^2} = \sqrt{61,2^2 + 3 \cdot 19,226^2} = 69,673,$$

$$\sigma_{BE}^t = \sqrt{(\sigma_B^t)^2 + 3 \cdot \tau_B^2} = \sqrt{62,92^2 + 3 \cdot 19,226^2} = 71,2.$$

Умови міцності болтів :

$$\sigma_{BE}^{20} \leq [\sigma_B]^{20}.$$

$$69,673 \text{ МПа} \leq 230 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{BE}^t \leq [\sigma_B]^t.$$

$$71,2 \text{ МПа} \leq 222 \text{ МПа}$$

Приведений згинаючий момент в діаметральному перерізі фланців за умов монтажу, МН · м :

$$M_{01\Phi} = 0,5 \cdot P_{B1} \cdot (D_B - D_{cn}) = 0,5 \cdot 0,877 \cdot (1,105 - 1,05) = 0,024.$$

Приведений згинаючий момент в діаметральному перерізі фланців за робочих умов, МН · м :

$$\begin{aligned} M_{02\Phi} &= 0,5 \cdot (P_{B2} (D_B - D_{cn}) + Q_g (D_{cn} - D - S_0)) \frac{[\sigma_\Phi]^{20}}{[\sigma_\Phi]^t} = \\ &= 0,5 \cdot (0,902 \cdot (1,105 - 1,05) + 1,287 \cdot (1,05 - 1 - 0,016)) \frac{160}{153} = 0,027, \end{aligned}$$

де  $[\sigma_{\Phi 1}]^{20}$  і  $[\sigma_{\Phi 2}]^{20}$  - допустимі напруження матеріалу фланців при температурі 293°К, МПа;

$[\sigma_{\Phi 1}]^t$ ,  $[\sigma_{\Phi 2}]^t$  - допустимі напруження матеріалу фланців при робочій температурі, МПа.

Розрахунковий згинаючий момент у діаметральному перерізі фланця, МН · м:

$$M_{0\Phi} = \max(M_{01}; M_{02}) = \max(0,024; 0,027) = 0,027$$

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Максимальні напруження в перерізі  $S_0$  фланців від дії вигинаючого моменту , МПа:

$$\sigma_{o\Phi 1} = \psi_3 \cdot \frac{T_\Phi \cdot M_{o\Phi} \cdot \omega_{\Phi 1}}{D \cdot (S_o - C)^2} = 1 \cdot \frac{1,859 \cdot 0,027 \cdot 0,491}{1 \cdot (0,016 - 0,001)^2} = 506,6,,$$

$$\sigma_{o\Phi 2} = \psi_3 \cdot \frac{T_\Phi \cdot M_{o\Phi} \cdot \omega_{\Phi 2}}{D \cdot (S_o - C)^2} = 1 \cdot \frac{1,859 \cdot 0,027 \cdot 0,491}{1 \cdot (0,016 - 0,001)^2} = 506,6,$$

де  $\psi_3$  - коефіцієнт поправки для перерізу  $S_0$ ,  $\psi_3 = 1$ .

Максимальні кільцеві напруження в дисках фланців від дії згинаючого моменту  $M_{o\Phi}$ , МПа

$$\sigma_{K\Phi 1} = \frac{M_{o\Phi} \cdot (1 - \omega_{\Phi 1} (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\Phi 1})) \cdot \psi_{2\Phi}}{D \cdot h_{\Phi 1}^2} = \frac{0,027 \cdot (1 - 0,491 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,514)) \cdot 14,793}{1 \cdot 0,065^2} = 26,867;$$

$$\sigma_{K\Phi 2} = \frac{M_{o\Phi} \cdot (1 - \omega_{\Phi 2} (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\Phi 2})) \cdot \psi_{2\Phi}}{D \cdot h_{\Phi 2}^2} = \frac{0,027 \cdot (1 - 0,491 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,514)) \cdot 14,793}{1 \cdot 0,065^2} = 26,867.$$

Кільцеве та меридіональне напруження у циліндричній втулці фланця від дії внутрішньо тиску  $p$

$$\sigma_{x\Phi 1} = \sigma_{x\Phi 2} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (S_o - C)} = \frac{0,1 \cdot 1}{2 \cdot (0,016 - 0,001)} = 7,143;$$

$$\sigma_{y\Phi 1} = \sigma_{y\Phi 2} = \frac{p \cdot D}{4 \cdot (S_o - C)} = \frac{0,1 \cdot 1}{4 \cdot (0,016 - 0,001)} = 3,571.$$

Еквивалентні напруження в перерізі циліндричної втулки фланців, МПа

$$\begin{aligned} \sigma_{E\Phi 1} &= \sqrt{(\sigma_{o\Phi 1} + \sigma_{y\Phi 1})^2 + \sigma_{x\Phi 1}^2 - (\sigma_{o\Phi 1} + \sigma_{y\Phi 1}) \cdot \sigma_{x\Phi 1}} = \\ &= \sqrt{(506,6 + 3,571)^2 + 7,143^2 - (506,6 + 3,571) \cdot 7,143} = 506,64; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{E\Phi 2} &= \sqrt{(\sigma_{o\Phi 2} + \sigma_{y\Phi 2})^2 + \sigma_{x\Phi 2}^2 - (\sigma_{o\Phi 2} + \sigma_{y\Phi 2}) \cdot \sigma_{x\Phi 2}} = \\ &= \sqrt{(506,6 + 3,571)^2 + 7,143^2 - (506,6 + 3,571) \cdot 7,143} = 506,64. \end{aligned}$$

Умови міцності:

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

$$\sigma_{E\Phi 1} \leq [\sigma_{\Phi 1}^{S_0}] \cdot \varphi ;$$

$$506,64 \leq (600 \cdot 0,9 = 540);$$

$$\sigma_{E\Phi 2} \leq [\sigma_{\Phi 2}^{S_0}] \cdot \varphi ;$$

$$506,64 \leq (600 \cdot 0,9 = 540),$$

де  $[\sigma_{\Phi 1}^{S_0}]$ ,  $[\sigma_{\Phi 2}^{S_0}]$  - допустимі напруження матеріалу фланця у перерізі  $S_0$ ,

$$[\sigma_{\Phi 1}^{S_0}] = [\sigma_{\Phi 2}^{S_0}] = 0,003 \cdot E_{\Phi}^t = 0,003 \cdot 2 \cdot 10^5 = 600 \text{ МПа}$$

$\varphi$  - коефіцієнт міцності зварних швів,  $\varphi = 0,9$ .

Умови міцності виконуються.

Умови герметичності:

При  $D \leq 2 \text{ м}$   $[\theta] = 0,009$  рад

$$\frac{\sigma_{K\Phi 1} \cdot D}{h_{\Phi 1} \cdot E_{\Phi 1}} \leq [\theta];$$

$$\frac{26,867 \cdot 1}{0,065 \cdot 2 \cdot 10^5} = 0,002 \leq 0,009;$$

$$\frac{\sigma_{K\Phi 2} \cdot D}{h_{\Phi 2} \cdot E_{\Phi 2}} \leq [\theta];$$

$$\frac{26,867 \cdot 1}{0,065 \cdot 2 \cdot 10^5} \leq 0,009.$$

Висновок: Умови міцності та герметичності виконуються.

## 5.8 Вітрове навантаження

### 5.8.1 Вихідні данні

Колона має постійне по висоті перерізу діаметром  $D=1\text{м}$ , висота колони  $H=25 \text{ м}$ , висота опорної обичайки  $1,5 \text{ м}$ .

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74



Товщина стінки корпусу  $S=0,016\text{м}$ , прибавка до розрахункової товщини  $C=0,001\text{м}$ . вага апарата  $200\text{кН}$ . На колоні розташовані дві площадки с поверхнею  $2,5\text{ м}^2$ . Висота розташування площадок 23 та 15 м. матеріал корпусу Сталь 08Х18Н10Т, розрахункова температура стінки  $t_R=40^\circ\text{C}$ . Район установки колони – м. Київ.

Алгоритм розрахунку наведено [15, 22 – 36]

### 5.8.2 Розрахункова схема

Колонний апарат розглядається у вигляді консольного вертикального стержня з пружними защемленнями (рисунок 5.9). У загальному випадку задача вирішується для стержня з трьома частинами, з різними жорсткостями, що враховано в програмі розрахунку. Можуть бути задані діаметри  $D_1, D_2, D_3$ , товщини стінок  $S_1, S_2, S_3$ , та висоти  $H_1, H_2, H_3$  частин з різними жорсткостями.

Вітрове навантаження змінюється по висоті х колони. Тому стержень умовно ділиться на  $z$  частин з висотою  $h$  кожний. Розподілене вітрове навантаження на кожній ділянці замінюється рівнодіючою концентрованою силою  $P$ , прикладеною у центрі ваги ділянки. Розділення на ділянки рекомендується виконати так, щоб висота  $h$  не перевищувала 10 м, а діаметр не змінювався на кожній ділянці.

Розділимо апарат на  $z=5$  ділянок з висотою  $h=5\text{ м}$ . вага кожного з них  $G_i = G / z = 200000 / 5 = 40000\text{ Н}$ .

Центр ваги прикидаємо розташованим посередині ділянки. Нумерація ділянок проводиться зверху. Відстань  $x$  до центра ваги  $x_1 = 22,5\text{ м}$ ,  $x_2 = 17,5\text{ м}$ ,  $x_3 = 12,5\text{ м}$ ,  $x_4 = 7,5\text{ м}$ ,  $x_5 = 2,5\text{ м}$ . В програмі розрахунку перераховані величини є вихідними даними.

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

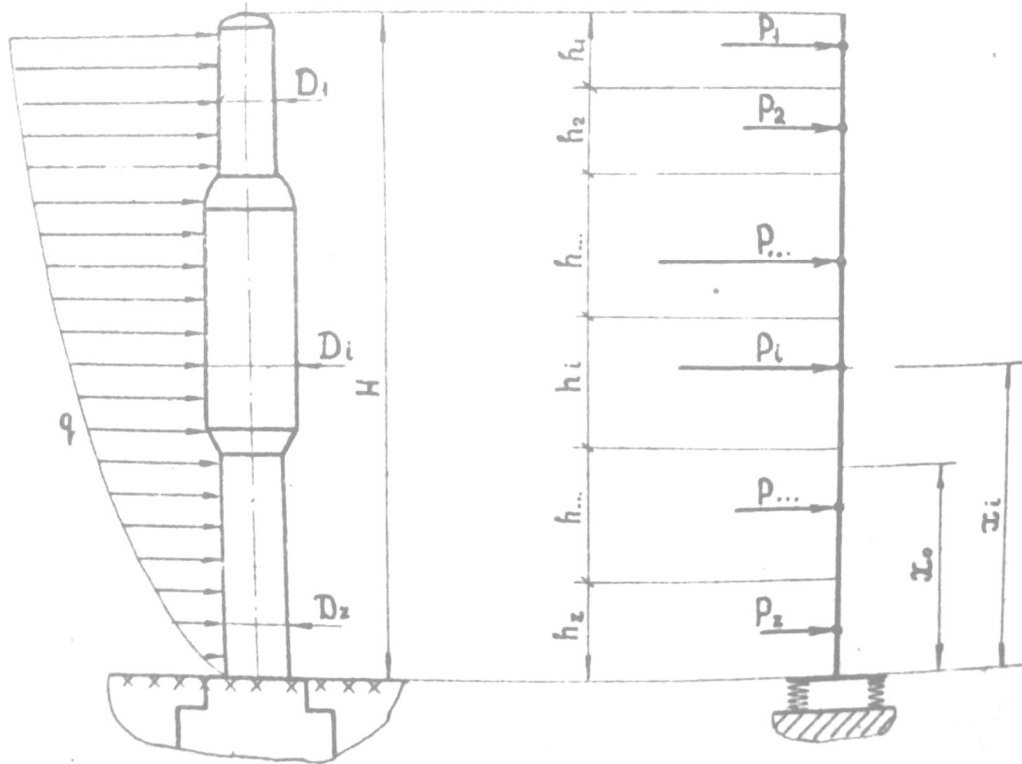


Рисунок 5.9. – Схема дії вітрового навантаження :

$q$  – еюра швидкісного напору вітру;  $P_1 \dots P_z$  – рівнодіючі вітровому навантаженню;  $x_0$  – відстань до розрахункового перерізу.

### 5.8.3 Визначення вітрового навантаження на колону

Момент інерції перерізу фундаменту

$$J_F = 1,3 \cdot J_k = 1,3 \cdot \frac{\pi}{64} \cdot D_k^4 = 1,3 \cdot \frac{3,14}{64} \cdot 1,180^4 = 0,124 \text{ м}^4$$

Де  $J_k$  – момент інерції суцільного перерізу з діаметром , рівним діаметру  $D_k$  фундаментального кільця опори.

Момент інерції основного верхнього металевого перерізу колони

$$\begin{aligned} J_1 &= \frac{\pi}{64} \cdot \left( (D_1 + 2S_4 - 2C)^4 - D^4 \right) = \\ &= \frac{3,14}{64} \cdot \left( (1 + 2 \cdot 0,016 - 2 \cdot 0,00)^4 - 1^4 \right) = 6,158 \cdot 10^{-3} \text{ м}^4. \end{aligned}$$

Так як колона має постійні перерізи, то  $J_1 = J_2 = J_3$ .

Тут  $J_{1,2,3}$  – моменти перерізу частин колони, що не відрізняються діаметрами  $D_1 = D_2 = D_3$ . або товщина ми стінок  $S_1 = S_2 = S_3$ .

Період основного тону коливань стержня постійного перерізу з жорсткою закладкою.

$$T_0 = 1,8 \cdot H \sqrt{\frac{G}{g} \cdot \frac{H}{E \cdot J_1}} = 1,8 \cdot 25 \sqrt{\frac{200000}{9,81} \cdot \frac{25}{1,98 \cdot 10^{11}}} = 0,92 \text{ с}$$

Період основного тону особистих коливань пружного защемлення стержня постійного перерізу розраховується по формулі

$$T = T_0 \sqrt{1 + \frac{4E \cdot J_1}{H \cdot C_F \cdot J_F}} = 0,92 \cdot \sqrt{1 + \frac{4 \cdot 1,98 \cdot 10^{11} \cdot 6,158 \cdot 10^{-3}}{25 \cdot 1 \cdot 10^8 \cdot 0,124}} = 3,768$$

Котра отримується для стержня з рівномірно розподіленою по висоті масою.

Коефіцієнт рівномірності стиснення ґрунту

Ґрунти середньої щільності  $C_F$ , Н/м<sup>3</sup> 10<sup>8</sup>.

Для подальших розрахунків потрібні наступні коефіцієнти, які можна отримати за діаграмами (рисунок 5.10)

$$\mu = 2$$

$$\Delta = 2,6$$

$$\lambda = 2,35$$

$$\begin{aligned} \gamma &= \frac{2}{H} \left( H^3 (\Delta + \mu) + H^3 \cdot \mu + 2 \cdot 1 \cdot H_1 \cdot H_2 \cdot H_3 \right) = \\ &= \frac{2}{25} \left( 25^3 (2,6 + 2) + 25^3 \cdot 2 + 2 \cdot 1 \cdot 25 \cdot 25 \cdot 25 \right) = 17,2 \end{aligned}$$

Коефіцієнт  $\beta_i$  для кожної з ділянок визначається по діаграмі (рисунок 5.11)

$$\beta_1 = 0,848, \beta_2 = 0,558, \beta_3 = 0,305, \beta_4 = 0,116, \beta_5 = 0,014.$$

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

Відносне переміщення центрів ваги ділянок

$$\alpha_i = \gamma \frac{H}{2E \cdot J} \cdot \beta_i + \frac{x_i}{H \cdot C_F \cdot J_F}, \frac{1}{H_i}$$

$$\alpha_1 = 1,958 \cdot 10^{-8}, \alpha_2 = 1,433 \cdot 10^{-8}, \alpha_3 = 9,418 \cdot 10^{-9}, \alpha_4 = 5,064 \cdot 10^{-9}, \alpha_5 = 1,468 \cdot 10^{-9}$$

Коефіцієнт  $\theta_i$ , що враховує зміни швидкості напору по висоті апарату

визначається за [15, 26 с]

$$\theta_1 = 1,296; \theta_2 = 1,196; \theta_3 = 1,074; \theta_4 = 1; \theta_5 = 1.$$

На висоті нижче 10 м коефіцієнт  $\theta = 1$ . Тому  $\theta_4 = \theta_5 = 1$ .

Нормативний швидкісний напір  $q_0$  на висоті нижче 10 м залежить від географічного району, в якому планується установка апарату.

В таблиця 5.3. дані значення географічного району для визначення швидкісних напорів.

Таблиця 5.3 Значення швидкісного напору

Території по швидкісним потокам	I	II	III	IV	V	VI	VII
Швидкісний напір вітру	270	350	450	550	700	850	1000

Київ знаходиться в районі де швидкісний напір вітру  $q_0 = 350 \text{ Н/м}^2$ .

Нормативне значення статичної складової вітрового навантаження по середині і-ї ділянки,  $\text{Н/м}^2$ :

$$q_{ist} = q_0 \cdot \theta_i \cdot k,$$

Де  $k=0,7$ – аеродинамічний коефіцієнт[15]

$$q_{1st} = q_0 \cdot \theta_1 \cdot k = 350 \cdot 1,296 \cdot 0,7 = 318;$$

$$q_{2st} = 293, q_{3st} = 263, q_{4st} = 245, q_{5st} = 245.$$

Статична складова на і-й ділянці  $P_{ist} = q_{ist} \cdot D_i \cdot h_i$ .

					ЛН01.066239.001 ПЗ		Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			78

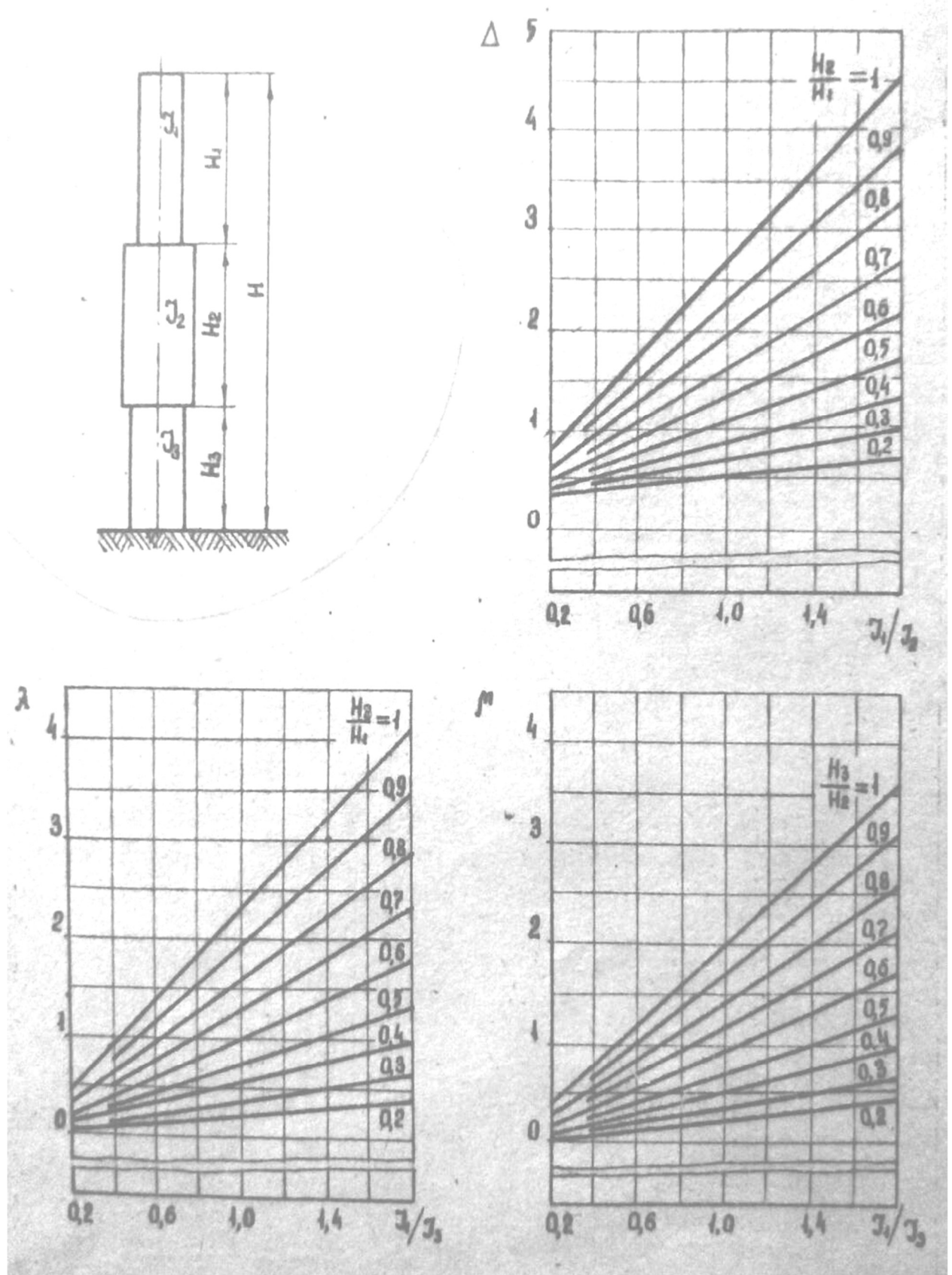


Рисунок 5.10. – Діаграми для визначення коефіцієнтів  $\mu$ ,  $\Delta$ ,  $\lambda$

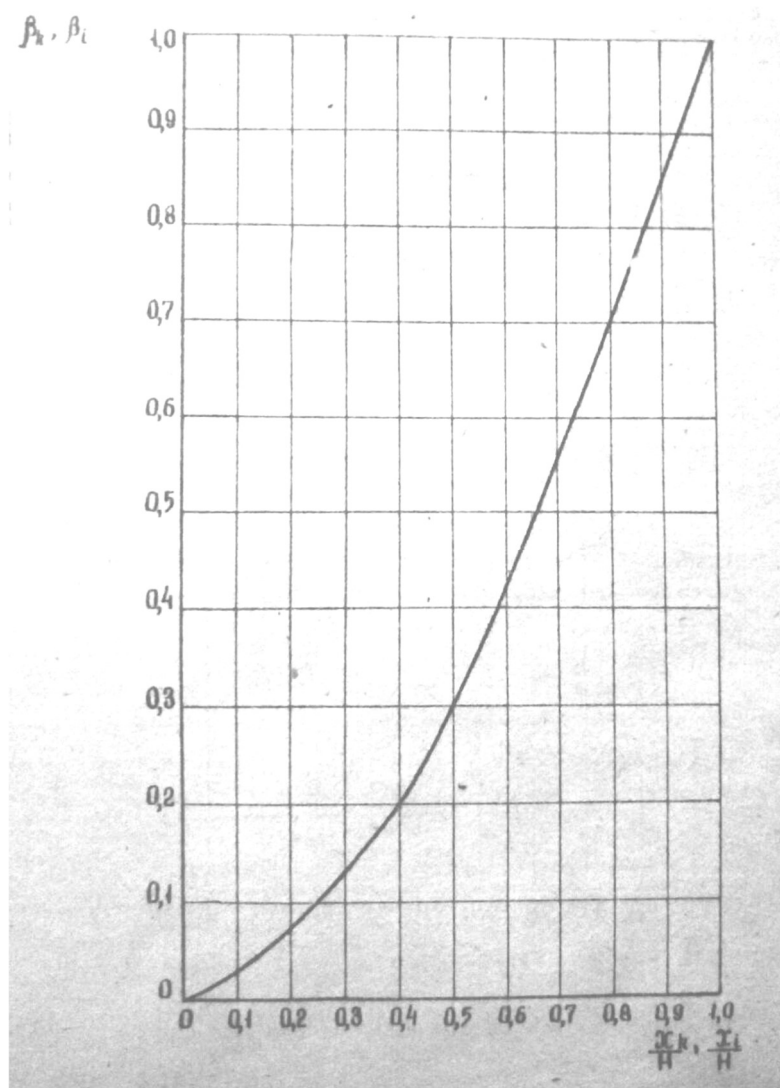


Рисунок 5.11. – Діаграма для визначення коефіцієнтів  $\beta_k, \beta_i$

Для мого прикладу навантаження  $D_i$  колони і висоти ділянок  $h_i$  однакові і відповідають  $D_i=1,016$  м і  $h_i=5$  м.

Статична складова для першої ділянки

$$P_{ist} = 318 \cdot 1,016 \cdot 5 = 1613 \text{ Н}$$

На інших ділянках

$$P_{2st} = 1489; \quad P_{3st} = 1337; \quad P_{4st} = P_{5st} = 1,245$$

Коефіцієнт пульсацій швидкісного напору  $m_i$  для середини  $i$ -ї ділянки визначається по графіку (рисунок 5.12)

$$m_1 = 0,527; \quad m_2 = 0,549; \quad m_3 = 0,579; \quad m_4 = m_5 = 0,6$$

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

Приведене відносне прискорення центра ваги i-ї ділянки

$$\eta_i = \alpha_i \frac{\sum_{i=1}^z \alpha_i \cdot m_i \cdot P_{ist}}{\sum_{i=1}^z \alpha_i^2 \cdot G_i}.$$

Для першої ділянки

$$\eta_1 = \alpha_1 \frac{\sum_{i=1}^z \alpha_i \cdot m_i \cdot P_{ist}}{\sum_{i=1}^z \alpha_i^2 \cdot G_i} = 1,958 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{4,052 \cdot 10^{-5}}{2,821 \cdot 10^{-11}} = 0,028;$$

$$\eta_2 = 0,021; \quad \eta_3 = 0,014; \quad \eta_4 = 0,0072; \quad \eta_5 = 0,0021.$$

Безрозмірний параметр

$$\varepsilon = \frac{T \sqrt{q_0}}{840};$$

$$\varepsilon = \frac{3,768 \sqrt{350}}{840} = 0,084$$

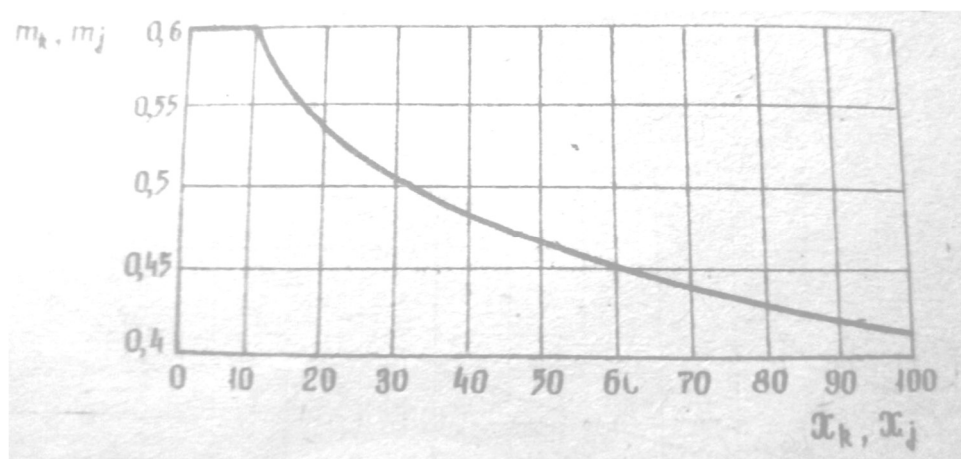


Рисунок 5.12. – Графік для визначення коефіцієнта  $m_i$

Коефіцієнт  $\nu$ , встановлюючий кореляцію пульсацій швидкості вітру, визначається по таблиці 4.3 в залежності від безрозмірного параметра  $\varepsilon$ .

Таблиця 4.3 Визначення висоти апарата за безрозмірним коефіцієнтом

Безрозмірний параметр $\varepsilon$	Висота апарата, м		
	45	60	120
$<0,05$	0,7	0,65	0,6
$<0,1$	—	0,75	0,65
$<0,2$	—	—	0,75

В розглянутій задачі  $\nu = 0,75$ , так як  $\varepsilon < 0,1$  і  $H=25$  м.

Коефіцієнт динамічності  $\zeta$  визначається по графіку (рис.7)

$$\zeta = 2,27$$

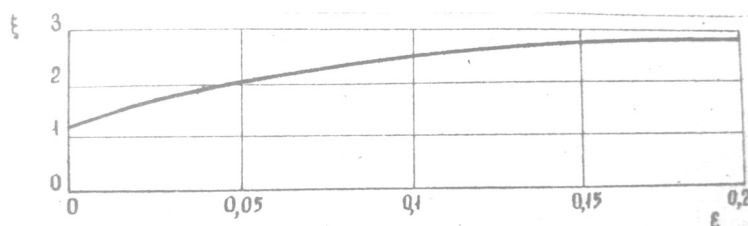


Рисунок 5.13. – Графік для визначення коефіцієнта  $\zeta$ .

Динамічна складова вітрового навантаження на  $i$ -й ділянці, Н:

$$P_{dyn} = \nu \cdot G_i \cdot \zeta \cdot \eta_i.$$

На першій ділянці

$$P_{1dyn} = \nu \cdot G_1 \cdot \zeta \cdot \eta_1 = 0,75 \cdot 40000 \cdot 2,27 \cdot 0,028 = 1915.$$

На інших ділянках

$$P_{2dyn} = 1402; \quad P_{3dyn} = 921; \quad P_{4dyn} = 495,3; \quad P_{5dyn} = 143,6;$$



Вітрове навантаження на першій і наступних ділянках, Н:

$$P_1 = P_{1dyn} + P_{1st}$$

$$P_2 = 2891; \quad P_3 = 2258; \quad P_4 = 1740; \quad P_5 = 1388.$$

#### 5.8.4. Вигинаючий момент в розрахунковому перерізі

Вигинаючий момент в розрахунковому перерізі визначається як сума вигинаючого момента  $M_v$  в перерізах від вітрового навантаження на колонний апарат и вигинаючого момента  $M$  в перерізах від вітрового навантаження, діючий на площу.

Значення вигинаючого момента  $M_v$  розраховується в перерізі  $Z-Z$ , відповідним сполученню колони з опорною обичайкою.

Відстань від перерізу, що розраховуємо  $x_0=1,5$ . Методика розрахунку вигинаючого момента однакова для будь-якого перерізу.

$$M_v = \sum_{i=1}^n P(x_i - x_0)$$

Де  $n$ – число ділянок до перерізу, що розраховуємо.

В моєму прикладі  $n=5$ , так як  $x_0=1,5$  м;

$$M_v = 1,57 \cdot 10^5$$

Вигинаючий момент  $M_j$  в розрахунковому перерізі на висоті  $x_0$  від діючого вітрового навантаження на  $j$ -у ділянку обслуговування визначається по формулі:

$$M_j = 0,85 \cdot q_0 \cdot \theta_j (x_j - x_0) (1 + 0,75\zeta \cdot m_j \cdot x_j) \cdot A_j;$$

$$m_{j1} = 0,6 \left( \frac{x_1}{23} \right)^{-0,16} = 0,6 \left( \frac{22,5}{23} \right)^{-0,16} = 0,602;$$

$$m_{j2} = 0,6 \left( \frac{x_2}{15} \right)^{-0,16} = 0,6 \left( \frac{17,5}{15} \right)^{-0,16} = 0,585;$$

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

$$\theta_{j1} = \left( \frac{x_1}{23} \right)^{0,32} = \left( \frac{22,5}{23} \right)^{0,32} = 0,993;$$

$$\theta_{j2} = \left( \frac{x_1}{15} \right)^{0,32} = \left( \frac{17,5}{15} \right)^{0,32} = 1,051.$$

Вигинаючий момент у перерізі на висоті  $x_0=1,5$  м, Н·м:

$$M_j = 0,85 \cdot 350 \cdot 0,993(23 - 1,5)(1 + 0,75 \cdot 2,27 \cdot 0,602 \cdot 1,34) \cdot 2,5 + \\ + 0,85 \cdot 350 \cdot 1,051(15 - 1,5)(1 + 0,75 \cdot 2,27 \cdot 0,585 \cdot 0,72) \cdot 2,5 = 5,581 \cdot 10^4;$$

Сумарний вигинаючий момент в розрахунковому перерізі, Н·м:

$$M_1 = M_v + M_j = 1,57 \cdot 10^5 + 5,581 \cdot 10^4 = 2,128 \cdot 10^5.$$

### 5.8.5. Перевірка міцності корпусу

#### 5.8.5.1. Розрахунок в робочих умовах

Вихідні данні: внутрішній діаметр колони  $D=1$  м ; товщина стінок  $S=0,016$  м; додаток до товщини  $C=0,001$ ; вага колони  $G=200$  кН; вигинаючий момент  $M = 2,128 \cdot 10^5$  Н·м; розрахунковий зовнішній тиск  $P=0,1$  МПа; розрахункова температура стінки  $t_R=40^\circ\text{C}$ .

По вихідним даним приймаємо  $[\sigma]=135$ МПа,  $\varphi_T = \varphi_N = 0,9$ . Розрахунок проводжу для перерізу III–III у місці з'єднання корпусу та обичайки. У розрахунковому перерізі:діють навантаження: осьова стискаюча сила  $F = 0,34$  МН, дорівнює вазі колни. Вигинаючий момент від вітрового навантаження  $M = 0,213$  МН·м,  $P=0,1$  МПа

Мередіальні напруження на повітряній стороні, МПа :

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

$$\sigma_{N1} = \frac{p(D+S)}{4(S-C)} - \frac{F}{\pi D(S-C)} + \frac{4M}{\pi D^2(S-C)} =$$

$$= \frac{-0,1(1+0,016)}{4(0,016-0,001)} + \frac{0,34}{3,14 \cdot 1(0,016-0,001)} + \frac{4 \cdot 0,212}{3,14 \cdot 1^2(0,016-0,001)} = 9,162.$$

Напруження  $\sigma_{N2}$  на повітряній стороні, МПа :

$$\sigma_{N1} = \frac{p(D+S)}{4(S-C)} - \frac{F}{\pi D(S-C)} - \frac{4M}{\pi D^2(S-C)} =$$

$$= \frac{-0,1(1+0,016)}{4(0,016-0,001)} + \frac{0,34}{3,14 \cdot 1(0,016-0,001)} - \frac{4 \cdot 0,212}{3,14 \cdot 1^2(0,016-0,001)} = -27.$$

Кільцьове напруження, МПа :

$$\sigma_t = \frac{P(D+S)}{2(S-C)} = \frac{-0,1(1+0,016)}{2(0,016-0,001)} = -3,387.$$

Еквівалентне напруження на повітряній стороні, МПа :

$$\sigma_{екв1} = \sqrt{\sigma_{N1}^2 - \sigma_{N1} \cdot \sigma_t \frac{\varphi_T}{\varphi_N} + \left( \sigma_t \frac{\varphi_T}{\varphi_N} \right)^2} =$$

$$= \sqrt{9,162^2 - 9,162 \cdot (-3,387) \frac{0,9}{1} + \left( (-3,387) \frac{0,9}{1} \right)^2} = 11.$$

Якщо  $\sigma < 0$ ,  $\Rightarrow \varphi_N = 1$ .

Еквівалентне напруження на повітряній стороні, МПа :

$$\sigma_{екв1} = \sqrt{\sigma_{N2}^2 - \sigma_{N2} \cdot \sigma_t \frac{\varphi_T}{\varphi_N} + \left( \sigma_t \frac{\varphi_T}{\varphi_N} \right)^2} =$$

$$= \sqrt{(-27)^2 + 27 \cdot (-3,387) \frac{0,9}{1} + \left( (-3,387) \frac{0,9}{1} \right)^2} = 25,6.$$

Перевірка умов міцності , на повітряній стороні:

$$\sigma_{екв1} \leq 131,5$$

$$11 \leq 131,5$$

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

Умова міцності виконується.

З підвітряного боку :

$$\sigma_{N2} \leq 135$$

$$27 \leq 135$$

Висновок: Умова міцності виконується.

## 5.9. Розрахунок опори колонного апарата

### 5.9.1 Розрахункова температура

Конструкція циліндричної опори для колонних апаратів наведена на рисунку 5.14.

Алгоритм розрахунку наведено [16, 39 – 54 с.]

Вихідні дані:

Вага апарата $G$ , МН	0,2;
кількість опор $n$	1;
внутрішній надлишковий тиск $P$ , МПа	1;
внутрішній діаметр обичайки $D$ , м	1;
товщина обичайки $S$ , м	0,014;
додаток до розрахункової товщини $C$ , м	0,001;
висота опори $h_3$ , м	1,6;
навантаження від власної ваги $Z-Z M_{z1}$ , МН · м	0.23;
кут охоплення обичайки опорним листом $\delta$	120°;
ширина листа $b$ , м	0,4;
навантаження від власної ваги $Y-Y M_{y1}$ , МН · м	
допустиме напруження при розрахунковій температурі $[\sigma]^t$ , МПа	171,6;

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

модуль пружності при розрахунковій температурі  $E^t$ , МПа

$$1,89 \cdot 10^5$$

відстань від опори до найближчого зварного шва

$$F=0,2.$$

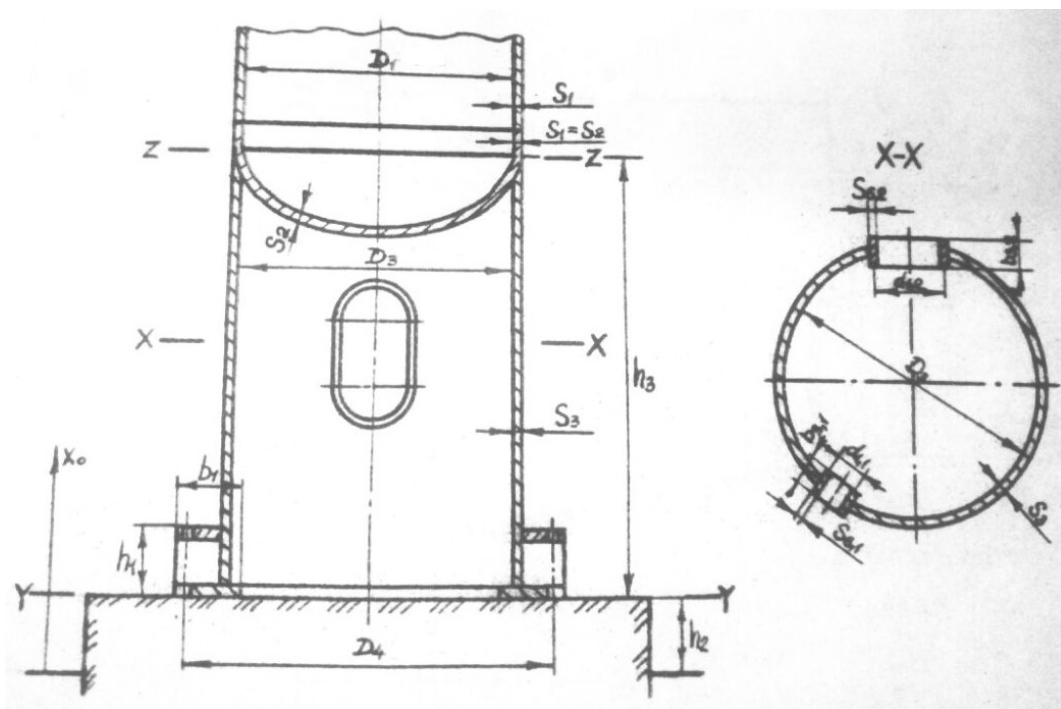


Рисунок 5.14. – Конструкція циліндричної опори для колонних апаратів

Перепад температури в опорній обичайці в робочих умовах, °C

$$\Delta t = 10 + 132h_3 + 249h_3^2 - 305h_3^3 + 93,4h_3^4 =$$

$$= 10 + 132 \cdot 1 + 249 \cdot 1^2 - 305 \cdot 1^3 + 93,4 \cdot 1^4 = 179,4$$

Розрахункова температура для елементів нижнього опорного вузла опорної обичайки робочих умовах, °C

$$t_A = 20.$$

## 5.9.2 Розрахунок опорної обичайки

Розрахункові осьові стискаючі сили у перерізах Z–Z та Y–Y, МН:

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87

$$F_{z1} = 0,2$$

$$F_{y1} = 0,23$$

Розрахункові згинаючі моменти у перерізах Z–Z та Y–Y, МН · м :

$$M_{z1} = 0 + 0,23 = 0,23$$

$$M_{y1} = 0,24$$

Коефіцієнт вічності зварного шва, що приєднує опорну обичайку до корпусу колони:

$$\varphi_s = 0,7$$

Перевірка міцності зварного шва, що з'єднує корпус колони

З опорною обичайкою:

$$\frac{1}{\pi \cdot D \cdot a_1} \left( \frac{4 \cdot M_{z1}}{D} + F_z \right) \leq \varphi_s \cdot \min \{ [\sigma]_0; [\sigma]_k \}$$

$$\frac{1}{3,14 \cdot 1 \cdot 0,01} \left( \frac{4 \cdot 0,23}{1} + 0,2 \right) \leq 0,7 \cdot \min \{ [140]_0; [140]_k \}$$

$$35,7 \leq 98$$

Умова міцності виконується

Допустиме осьове стискаюче зусилля за умов міцності , МН:

$$\begin{aligned} [F]_M &= \pi (D_3 + S_3 - C)(S_3 - C)[\sigma]_0 = \\ &= 3,14(1 + 0,016 - 0,001)(0,016 - 0,001) \cdot 140 = 6,7 \end{aligned}$$

Коефіцієнт запасу стійкості  $n_y$  :

$$n_y = 2,4$$

Допустиме осьове стискаюче зусилля за умов стійкості в границях пружності, МН:

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$[F]_E = \frac{310 \cdot 10^{-6} \cdot E_0}{n_y} \cdot D_3^2 \cdot \left[ \frac{100(S_3 - C)}{D_3} \right]^{2,5} =$$

$$= \frac{310 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5}{2,4} \cdot 1^2 \cdot \left[ \frac{100(0,016 - 0,001)}{1} \right]^{2,5} = 71,2$$

Допустимий згинаючий момент за умов міцності, МН · м :

$$[M]_M = 0,25 \cdot D_3 [F]_M = 0,25 \cdot 1 \cdot 6,7 = 1,673$$

Допустимий згинаючий момент за умов стійкості в границях пружності, МН · м :

$$[M]_E = \frac{D_3}{3,5} \cdot [F]_E = \frac{1}{3,5} \cdot 71,2 = 20,34$$

Допустиме осьове стискаюче зусилля, МН:

$$[F] = \frac{[F]_M}{\sqrt{1 + \left( \frac{[F]_M}{[F]_E} \right)^2}} = \frac{6,7}{\sqrt{1 + \left( \frac{6,7}{71,2} \right)^2}} = 6,664$$

Допустимий згинаючий момент, МН · м :

$$[M] = \frac{[M]_M}{\sqrt{1 + \left( \frac{[M]_M}{[M]_E} \right)^2}} = \frac{1,673}{\sqrt{1 + \left( \frac{1,673}{20,34} \right)^2}} = 1,668$$

Коефіцієнти  $\psi_1$ ,  $\psi_2$ ,  $\psi_3$  :

$$\varphi_1 = 0,97$$

$$\varphi_2 = 0,87$$

$$\varphi_3 = 0,02$$

Умова стійкості опорної обичайки в зоні отвору :

$$\frac{F_y}{\psi_1 \cdot [F]} + \frac{M_y + F_y \cdot \psi_3 \cdot D_3}{\psi_2 \cdot [M]} \leq 1$$

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
						89
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\frac{0,23}{0,97 \cdot 6,664} + \frac{0,24 + 0,23 \cdot 0,02 \cdot 1}{0,87 \cdot 1,668} = 0,204$$

$$0,204 \leq 1$$

Умова стійкості виконується

Коефіцієнт міцності кільцевого зварного шва

$$\varphi_T = 1$$

Умова міцності зварного кільцевого шва поза зони отворів

$$\frac{1}{\pi \cdot D \cdot (S_3 - C)} \left( \frac{4 \cdot M_y}{D} + F_y \right) \leq \varphi_T \cdot [\sigma]_0;$$

$$\frac{1}{3,14 \cdot 1 \cdot (0,016 - 0,001)} \left( \frac{4 \cdot 0,24}{1} + 0,23 \right) \leq 1 \cdot 140;$$

$$15,5 \leq 140$$

### 5.9.3 Розрахунок анкерних болтів

Розрахункова осьова стискаюча сила в умовах монтажу у перерізі Y–Y, МН:

$$F_{y3} = G_{y4} = F_{y1};$$

$$F_{y3} = 0,23.$$

Розрахунковий згинаючий момент в умовах монтажу у перерізі Y–Y, МН:

$$M_{y3} = M_{y1} = 0,24$$

Кількість анкерних болтів

$$n = 12$$

Коефіцієнт  $\chi_{81}$

$$\chi_{81} = 3,5$$

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Коефіцієнт  $\chi_{83}$

$$\chi_{83} = 3,5$$

Розрахунковий внутрішній діаметр різьби анкерних болтів, що встановлюють на бетонних фундаментах, м

$$d_{2r} = \max \left\{ \chi_{81} \sqrt{\frac{M_{y1} - 0,44 \cdot F_{y1} \cdot D_4}{n \cdot [\sigma]_e \cdot D_4}}; \chi_{83} \sqrt{\frac{M_{y3} - 0,44 \cdot F_{y3} \cdot D_4}{n \cdot [\sigma]_e \cdot D_4}} \right\};$$
$$d_{2r} = 3,5 \sqrt{\frac{0,24 - 0,44 \cdot 0,23 \cdot 1,180}{12 \cdot 230 \cdot 1,180}} = 0,021$$

Виконавчий внутрішній діаметр різьби анкерних болтів для колон, що встановлюють на бетонних фундаментах, м

$$d_2 = d_{2r} + 0,0013 = 0,023$$

#### 5.9.4 Розрахунок нижнього опорного вузла

Розрахункова ширина нижнього опорного кільця, м:

$$b_{1R} = \frac{1}{\pi \cdot D_4 \cdot [\sigma]_{бет}} \left( \frac{4M_y}{D_4} + F_y \right) =$$
$$= \frac{1}{3,14 \cdot 1,180 \cdot 5} \left( \frac{4 \cdot 0,24}{1,180} + 0,23 \right) = 0,056$$

Виконавча ширина опорного кільця, м:

$$b_1 = 0,75$$

Частина ширини нижнього опорного кільця, що виступає, м:

$$2d_2 + 0,03 = 0,075$$

$$0,075 \leq b_2 \leq 0,5$$

$$b_2 = 0,5$$

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
						91
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Напруження стиску у бетоні, МПа:

$$\sigma_{бет} = [\sigma]_{бет} \frac{b_{1R}}{b_1} = 5 \cdot \frac{0,056}{0,75} = 0,376$$

Перевірка міцності зварного шва нижнього опорного кільця:

$$\frac{1}{\pi \cdot D \cdot 2a_2} \left( \frac{4 \cdot M_y}{D} + F_y \right) \leq \phi_T \cdot [\sigma]_0$$

$$\frac{1}{3,14 \cdot 1 \cdot 0,01} \left( \frac{4 \cdot 0,24}{1} + 0,23 \right) \leq 1 \cdot 140$$

$$15,2 \leq 84$$

Умова міцності виконується

Якщо не виконується умова міцності належить використовувати конструкції опорного вузла у виконаннях *B*, *C* або *D*.

Коефіцієнт  $\chi_1, \chi_4$

$$\chi_1 = 1, \chi_4 = 0,085$$

Товщина нижнього опорного кільця, м

$$S_4 = \max \left\{ 1,5S_3; \chi_1 \cdot b_1 \sqrt{\frac{3\sigma_{бет}}{[\sigma]_A}} + C \right\};$$

$$S_4 = 0,026.$$

Товщина ребра, м

$$S_7 = 0,4 \cdot S_4 = 0,4 \cdot 0,026 = 0,011$$

Уточнення товщини ребра з умов стійкості

$$\frac{b_2}{S_7} = \frac{0,5}{0,011} = 45,455 \geq 20$$

$$S_7 = \frac{0,5}{20} = 0,025$$

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
						92
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висота нижнього опорного вузла, м

$$h_1 = 0,7$$

Місцеве напруження вигину стінки опорної обичайки від верхнього опорного елемента–кільця, МПа

$$\sigma_{1x} = \frac{6 \cdot \chi_4 \cdot A_\delta \cdot [\sigma]_B \cdot e_2}{(S_3 - C)^2 \cdot h_1} = \frac{6 \cdot 1 \cdot 3,39 \cdot 10^{-4} \cdot 230 \cdot 0,332}{(0,016 - 0,001)^2 \cdot 0,7} \leq [\sigma]_n$$

Перевірка міцності стінки опорної обичайки, що знаходиться в стані напруження вигину від верхнього опорного елемента–кільця.

$$\sigma_{1x} = 83,821 \leq 105$$

Висновок: Умови міцності виконуються

## 5.10. Теплова ізоляція

Мета розрахунку: визначити товщину ізоляції.

Алгоритм розрахунку наведено [17, 87 – 88 с.]

Розрахункова схема зображена на рисунку 5.15

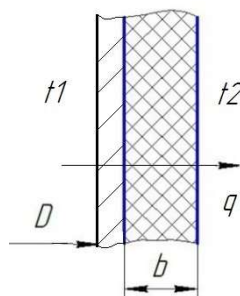


Рисунок 5.15– Схема ізоляції

Вихідні дані:

Довжина корпусу Н, м 25;

Діаметр корпусу d, м 1,032;

Температура навколишнього середовища  $t_n$ , °С 18;

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		93

температура речовини в апараті  $t_{\text{ст}}$ , °C 40;

температура в апараті  $t_{\text{вн}}$ , °C 40;

Середня температура теплоізоляційного шару для об'єктів розташованих на відкритому повітрі, °C

влітку

$$t_m = \frac{t_w + 40}{2} = \frac{40 + 40}{2} = 40.$$

взимку

$$t'_m = \frac{t_w}{2} = \frac{40}{2} = 20$$

Теплопровідність теплоізоляційного шару в конструкції,  $\frac{\text{Вт}}{(\text{м} \cdot \text{К})}$ :

влітку

$$\lambda_e = 0,049 + 0,0002 \cdot t_m = 0,049 + 0,0002 \cdot 40 = 0.057,$$

влітку

$$\lambda'_e = 0,049 + 0,0002 \cdot t'_m = 0,049 + 0,0002 \cdot 20 = 0.053,$$

Опір теплопередачі теплоізоляції конструкції,  $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$ :

$$R_{\text{tot}} = \frac{t_w - t_e}{q \cdot K_1} = \frac{40 - 7,2}{85 \cdot 1} = 0,386.$$

Термічний опір теплоізоляційної конструкції,  $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$ :

$$R_k = R_{\text{tot}} - \frac{1}{\alpha_e} - R_m = 0,386 - \frac{1}{35} - 0 = 0,357$$

Товщина теплоізоляційного шару, м:

$$\delta_k = \lambda_k \cdot R_k = 0,057 \cdot 0,357 = 0.002$$

Товщину теплоізоляційного виробу  $\delta_1$  з матеріалів, що ущільнюється, до встановлення на ізольовану поверхню визначаємо з урахуванням коефіцієнта ущільнення  $K_C$ , який для мінераловатних прошивних мат становить 1,2.

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
						94
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тоді товщина  $\delta_1$ , м:

$$\delta_1 = \delta_e \cdot K_c \frac{D + \delta_k}{D + 2\delta_k} = 0,02 \cdot 1,2 \cdot \frac{1,032 + 0,02}{1,032 + 2 \cdot 0,02} = 0,024.$$

Приймаємо товщину ізоляції  $\delta = 0,004$  м.

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
						95
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 6 Рекомендації щодо монтажу та експлуатації насадкової ректифікаційної колони

Вертикальні апарати монтують до встановлення наземних будівельних конструкцій та споруд, котрі можуть заважати їх підйому. Кількість кранів для підйому конструкції визначається масою й жорсткістю монтованого апарата [18].

Стропують конструкцію за монтажні вушка або штуцери. В разі їх відсутності стропують канатними петлями за корпус. під час монтажу слід стежити, щоб посадкові поверхні апарата не збігалися з місцями стропування.

Зазвичай вантажопідйомні пристрої залишають для подальшого ремонту апарата.

Після завершення установки конструкції необхідно здійснити перевірку по відхиленням від проектних очей.

допустимі відхилення від проектних осей можуть знаходитися в межах  $\pm 0,02$  м. Відмітка по висоті встановленого апарата не має перевищувати відхилення до 0,01 м. Відхилення конструкції від осі горизонталі не повинно перевищувати 3 мм на 1 м.

Перевірка на правильність встановлення конструкції повинно проводитися за допомогою теодоліта, рівнеміра та відвіса.

Монтуючи окремі частини конструкції необхідно звернути увагу на розташування встановлених фланцевих з'єднань та їх відхилень від проектних відміток. особливістю встановлення комплектуючих деталей полягає в тому, щоб монтуючи їх співпадали всі роз'ємні з'єднання. Важливою частиною є те, щоб співпадали з'єднання трубопроводів.

Підготовка ректифікаційної колони до початку експлуатації потребує перевірку налагодження насадки, справності контролюючих пристроїв, регулювання розподільчих пристроїв.

Після закінчення монтажних робіт конструкції необхідно провести випробування. Першим етапом є проведення підготовчих робіт, пов'язаних з оглядом та перевіркою стану вузлів та всіх частин апарату. При цьому особливу

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
						96
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

увагу треба звернути на деталі що забезпечують герметичність системи, кришок, болтів, прокладок та інших деталей. В програму випробувань входить гідравлічне та пневматичне випробування апарата разом з трубопроводами на тиск, який вказаний на кресленні. При випробуваннях виявляють герметичність та надійність роботи вентилів, кранів, клапанів та іншої арматури, а також щільність всіх роз'ємних з'єднань.

Програма випробувань складається з гідравлічного та пневматичного випробування апарата та його трубопроводів на тиск, що вказаний на кресленні. При цих випробуваннях виявляють герметичність та надійність, а також щільність всіх роз'ємних з'єднань.

Випробування апарату проводять гідравлічно на пробний тиск.

Величину пробного тиску при випробуванні вимірюють у верхній точці апарату, де встановлюють манометр. Пробний тиск утримують протягом 5 хв., після чого тиск зменшую до робочого, і за робочого тиску проводять огляд зварних швів.

У тих випадках, коли провести гідравлічне випробування неможливо через великі напруження в стінках або фундаменті апарату, або при важкості видалення води після випробування апарату дозволяється проводити пневматичне випробування на такий же пробний тиск. При цьому через підвищену небезпеку пневматичного випробування люди повинні знаходитись в безпечних місцях. Після зниження тиску до робочого проводять огляд і перевірку щільності зварних швів мильною піною. Обстукування швів під тиском при пневматичному випробуванні забороняється.

Апарат можна вважати таким, що витримав випробування. якщо при випробуваннях не було падіння тиску по вимірам манометра, течі, краплин, потіння або пропускання газу через зварні шви. Така умова є обов'язковою.

Результати випробувань апарата оформлюються актом та заносяться до паспорту апарату.

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
						97
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 7 Рівень стандартизації та уніфікації

Рівень стандартизації та уніфікації характеризується коефіцієнтом застосовності по деталях, визначаємо за методикою [19], затверджений Держстандартом України.

Сам же рівень передбачає усунення надлишкової різноманітності в конструкціях деталей, вузлів, різних елементів (різьби, отвори та інше) в сортаменті матеріалів, формах технічної документації.

При проектуванні та розробці насадкової ректифікаційної колони, який входить до схеми технологічної лінії виробництва карбаміду, використано багато стандартних, нормалізованих та уніфікованих конструктивних елементів, деталей та вузлів. Це зроблено з метою спрощення ремонту, обслуговування та заміни елементів конструкції.

Рівень стандартизації становить:

$$K_c = \frac{n_c}{N} = \frac{390}{410} = 0,95;$$

де:  $n_c$  – кількість стандартних деталей,  $n_c = 390$ ;

$N$  – загальна кількість деталей,  $N = 410$ .

Рівень уніфікації становить:

$$K_y = \frac{n_c + n_3}{N} = \frac{390 + 12}{410} = 0,98;$$

де:  $n_3$  – кількість уніфікованих деталей,  $n_3 = 12$ .

Висновок: дана ректифікаційна колона відповідає сучасним умовам стандартизації та уніфікації.

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
						98
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



## 8 Техніко – економічні обґрунтування доцільності зміни конструкції

Базисна насадкова ректифікаційна колона має досить добрі експлуатаційні характеристики, але з метою підвищення інтенсифікації процесу було удосконалено апарат, а саме встановлено цепної насадки з додаванням поперечних ланок і розташування насадки в апараті концентрично.

Основні техніко-економічні показники базової та модернізованої ректифікаційної колони представлено в таблиці 8.1.

Таблиця 8.1 – Порівняльна характеристика базової та модернізованої ректифікаційної колони.

Показники	Одиниця виміру	Техніка	
		Базова	Проектowana
Продуктивність за кубовим залишком(ацетон)	кг/с	6	8
Висота колони	м	32	25
Термін служби насадки	років	2	4
Маса апарату	кг	20000	20000
Вибухонебезпечність		так	так
Норма Обслуговування	чол.	6	6

Модернізація дозволяє створити більш благополучні умови для протікання процесів масообміну ніж у аналогів такої конструкції.

Поставлена мета вирішується тим, що насадковий масообмінний апарат, заповнюється насадкою, яка складається з вертикально підвішених ланцюгів з'єднаних між собою поперечними ланками та розміщені в апараті концентрично.

Таким чином збільшується питома поверхня насадки, що натомість призводить до покращення масообміну.

За вихідними даними до проекту: суміш етанова кислота – ацетон, масова продуктивність колони за вихідною сумішшю – 8000 кг/год; масова частка НКК(етанова кислота) у початковій суміші – 0,35 масова частка НКК(етанова кислота) у дистиляті – 0,93; масова частка НКК(етанова кислота) у кубовому залишку 0,05; температура початкової суміші – 19 °С, було проведено розрахунки, які дали змогу проаналізувати удосконалене устаткування. Отримані зміни приведені у таблиці 3.1. Модернізація діючого устаткування означає його вдосконалення з метою попередження або усунення фізичного зносу, техніко-економічного старіння та підвищення його технічних параметрів до рівня сучасних вимог.

Економічно доцільно здійснювати модернізацію устаткування під час проведення його капітального ремонту. Зазвичай модернізація устаткування хімічної та нафтопереробної галузей промисловості забезпечує збільшення його продуктивності на 10-18 %, а здійснені згідно з нею витрати не перевищують половини вартості нових знарядь виробництва аналогічного призначення.

Розрахунки ефективності на проведення модернізації устаткування полягають у визначенні коефіцієнта ефективності витрат  $n_{p_i}$ , який розраховується за формулою [20, с. 6]

$$n_{p_i} = 1 - \frac{M_i + S_{e_i}}{K_{H_i} \alpha \beta + S_{a_i}},$$

де  $M_i$  - сукупні витрати на проведення модернізації устаткування, грн.;

$S_{e_i}$  - перевищення експлуатаційних (поточних) витрат модернізованого устаткування порівняно з новим аналогічним устаткуванням, грн.;

$K_{H_i}$  - оптова ціна придбання нового аналогічного устаткування, грн.;

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
						100
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$\alpha$  - коефіцієнт співвідношення продуктивності модернізованого устаткування та аналогічного нового устаткування;

$\beta$  - коефіцієнт співвідношення тривалості ремонтного циклу модернізованого устаткування та аналогічного нового устаткування;

$S_{a_i}$  - втрати від недоамортизації устаткування, яке підлягає модернізації.

Розрахований по формулі (8.1) коефіцієнт  $n_{p_i}$  може мати позитивні, негативні або нульове значення (таблиця 8.2).

Сукупні витрати  $M_i$  на проведення модернізації устаткування складаються з таких окремих елементів, а саме:

- матеріальні витрати (вартість сировини, матеріалів, комплектуючих виробів та енергоносіїв, які необхідні для виконання модернізації);
- витрати на оплату праці (заробітна плата розробників конструкторської та технологічної документації; заробітна плата основних робітників, які виконують роботи по модернізації устаткування; відрахування на соціальне страхування);
- амортизація, яка нарахована на діюче устаткування, яке підлягає модернізації;
- інші види витрат.

Таблиця 8.2 - Значення коефіцієнту ефективності витрат  $n_{p_i}$  на модернізацію устаткування [20, с.6, таблиця 2]

Величина коефіцієнта $n_{p_i}$	Висновок щодо доцільності модернізації устаткування
$n_{p_i} > 0$	Модернізація устаткування з економічної точки зору доцільна
$n_{p_i} < 0$	Модернізація устаткування з економічної точки зору недоцільна. Доцільним є придбання нового устаткування.
$n_{p_i} = 0$	Рішення про модернізацію устаткування приймається, виходячи з конкретних виробничих обставин.

З достатньою для розрахунків точністю, яка базується на практичних даних підприємств хімічного машинобудування, величина сукупних витрат  $M_i$  на модернізацію устаткування може бути розрахована по формулі [20, с. 7]:

$$M_i = \Phi_{i_{\text{перв}}}^{\text{мод}} \cdot K_i = 3500000 \cdot 0,06 = 210000,$$

де  $\Phi_{i_{\text{перв}}}^{\text{мод}}$  – первісна (відновлена) вартість устаткування, яке підлягає модернізації,

$$\Phi_{\text{перв}}^{\text{мод}} = 3500000 \text{ грн.}$$

$K_i$  - коефіцієнт витрат, величина якого залежить від виду і типу устаткування, яке підлягає модернізації,  $K_i = 0,06$  для масообмінної колони.

Модернізоване устаткування у процесі подальшої експлуатації, як правило, вимагає більш високих експлуатаційних (поточних) витрат у порівнянні з аналогічним новим устаткуванням.

Експлуатаційні (поточні) витрати при роботі устаткування складаються з таких витрат:

- витрати паливно-мастильних матеріалів;
- витрати на придбання та виготовлення необхідних запасних частин;
- витрати на оплату праці ремонтного персоналу;
- інші поточні експлуатаційні витрати.

З достатнім для розрахунків ступенем точності, який базується на практичних даних підприємств хімічного машинобудування, величина перевищення експлуатаційних (поточних) витрат по модернізованому устаткуванню порівняно з новим аналогічним устаткуванням  $S_{ei}$  може бути розрахована по формулі [20, с. 9]:

$$S_{ei} = q_{b_i} \cdot \Phi_{\text{перв}}^{\text{мод}} - q_{b_{\text{н}}} \cdot \Phi_{\text{перв}}^{\text{нов}} = 0,12 \cdot 3500000 - 0,1 \cdot 3700000 = 50000$$

де  $q_{b_i}$  – коефіцієнт експлуатаційних (поточних) витрат устаткування, яке підлягає модернізації,  $q_{b_i} = 0,12$ ;

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
						102
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$q_{b_n}$  – коефіцієнт експлуатаційних (поточних) витрат аналогічного нового устаткування,  $q_{b_n} = 0,1$

$\Phi_{\text{перв}}^{\text{нов}}$  – первісна вартість нового (аналогічного) устаткування,  $\Phi_{\text{перв}}^{\text{нов}} = 3700000$ .

Коефіцієнт співвідношення продуктивності модернізованого устаткування та аналогічного нового устаткування  $\alpha$  розраховується по формулі [20, с. 11]:

$$\alpha = \frac{P_i}{P_{\text{нов}}} = \frac{6}{8} = 1,33,$$

де  $P_i$  – продуктивність або інший один з найбільш важливих показників, який характеризує роботу устаткування, яке підлягає модернізації,  $P_i = 6$

$P_{\text{нов}}$  – продуктивність або інший один з найбільш важливих показників, який характеризує роботу аналогічного нового устаткування,  $P_{\text{нов}} = 8$

Коефіцієнт співвідношення тривалості ремонтного циклу модернізованого устаткування та аналогічного нового устаткування  $\beta$  розраховується по формулі [20, с. 11]:

$$\beta = \frac{T_{\text{мод}}}{T_{\text{нов}}} = \frac{8}{10} = 0,8,$$

де  $T_{\text{мод}}$  – тривалість ремонтного циклу устаткування, яке підлягає модернізації,  $T_{\text{мод}} = 10$

$T_{\text{нов}}$  – тривалість ремонтного циклу аналогічного нового устаткування,  $T_{\text{нов}} = 12$ .

Тривалість ремонтного циклу устаткування – це період часу між двома капітальними ремонтами устаткування, або тривалість часу між придбанням устаткування та першим капітальним ремонтом. В якості показників ремонтного циклу можуть також використовуватися показники виробітку продукції між двома капітальними ремонтами устаткування та інші аналогічні показники.

Підставляючи всі знайдені величини у формулу (8.1), необхідно отримати величину коефіцієнта ефективності витрат  $n_{p_i}$ , розрахункова величина якого дає нам змогу зробити висновки щодо доцільності проведення модернізації обраного в дипломному проекті устаткування.

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
						103
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$n_{pi} = 1 - \frac{M_i + S_{e_i}}{K_{H_i} \cdot \alpha \cdot \beta + S_{a_i}} = 1 - \frac{210000 + 50000}{9503000 \cdot 1,333 \cdot 0,8 + 215000} = 0,937.$$

Висновок: розраховане значення коефіцієнта ефективності витрат  $n_{pi} > 0$ , а це значить, що модернізація насадки колони є економічно доцільна. У якості аналога використовувався сучасна вітчизняна насадкова ректифікаційна колона.

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
						104
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Висновок

В дипломному проекті бакалавра на тему: «Модернізація насадкової колони з виробництва ацетону» проведена модернізація насадкової ректифікаційної колони для отримання ацетону.

Модернізація насадкової колони полягає в тому, що насадковий масообмінний апарат, заповнюється насадкою, яка складається з вертикально підвішених ланцюгів з'єднаних між собою поперечними ланками та розміщені в апараті концентрично.

Нова конструкція дозволяє збільшити питому поверхню насадки, що збільшить поверхню контакту фаз і, відповідно, зменшить габарити колони.

В результаті дипломного проекту бакалавра було зроблено опис процесу; розраховані діаметр, висота та висота шару насадки; підтверджено вибір конструкторської машини; основні показники порівнювалися з аналогами конструкції; було проведено патентне дослідження; розроблено рекомендації з охорони праці; доведено економічну обґрунтованість модернізації.

Виконані розрахунки, що підтверджують ефективність і надійність вибраних конструкцій пристрою, такі як параметричні, гідравлічні, розрахунки на міцність і базові вузли апарата, розраховане вітрове навантаження та ізоляційний шар. Виконані рекомендації з монтажу та експлуатації, визначено рівень стандартизації та уніфікації, зроблено техніко-економічне обґрунтування модернізації. Результати розрахунку наведені в додатках та пояснювальній записці. Більша частина розрахунків виконана в програмному середовищі Mathcad 15.

Графічна частина проекту виконана у “COMPAS 3D environment V12” і включає технологічну схему (A1), складальне креслення (A1), корпус (A1), кришка (A2), Розподільча тарілка (A2) і технічна ілюстрація ідеї патенту (A3). Специфікації були зроблені для специфікації складальних креслень.

За період виконання проекту було отримано декларативний патент на корисну модель №132434 U B01J 19/32, та були опубліковані дві тези доповідей на Всеукраїнських конференціях.

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
						105
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Вывод

В дипломном проекте бакалавра на тему: «Модернизация насадочной колонны по производству ацетона» проведена модернизация насадочной ректификационной колонны для получения ацетона.

Модернизация насадочной колонны заключается в том, что насадочный массообменный аппарат, заполняется насадкой, которая состоит из вертикально подвешенных цепей соединенных между собой поперечными звеньями и размещены в аппарате концентрически.

Новая конструкция позволяет увеличить удельную поверхность насадки, что увеличит площадь контакта фаз и, соответственно, уменьшит габариты колонны.

В результате дипломного проекта бакалавра было сделано описание процесса; рассчитаны диаметр, висота аппарата и высота слоя насадки; подтверждено выбор конструкторской машины; основные показатели сравнивались с аналогами конструкции; было проведено патентное исследование; разработаны рекомендации по охране труда; доказано экономическую обоснованность модернизации.

Выполнены расчеты, подтверждающие эффективность и надежность выбранных конструкций устройства, такие как параметрические, гидравлические, прочностные и базовые узлы аппарата, рассчитано ветровую нагрузку и изоляционный слой. Выполнены рекомендации по монтажу и эксплуатации, определен уровень стандартизации и унификации, сделано технико-экономическое обоснование модернизации. Результаты расчета приведены в приложениях и пояснительной записке. Большая часть расчетов выполнена в программной среде Mathcad 15.

Графическая часть проекта выполнена в "COMPAS 3D environment V12" и включает технологическую схему (A1), сборочный чертеж (A1), корпус (A1), крышка (A2), Распределительная тарелка (A2) и техническая иллюстрация идеи патента (A3). Спецификации были сделаны для спецификации сборочных чертежей.

За период реализации проекта было получено декларативный патент на полезную модель №132434 U B01J 19/32, и были опубликованы два тезиса докладов на Всеукраинских конференциях.

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
						106
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



## Conclusions

In the Bachelor Diploma project on the theme: " Modernization of packed column of acetone production plant " a nozzle distillation column for acetone was developed.

The modernization of the packing column is that the attachment mass-exchange unit is filled with a nozzle, which consists of vertically suspended chains connected by each other with transverse links and placed in the device concentrically ..

The new implementation of the packing allows you to increase the specific surface of the pack, that will increase the area of contact of the phases and, accordingly reduce the dimensions of the columns.

As a result of the Bachelor Diploma project, a description of the process was made; calculated diameter, height and height of the packing layer; the choice of the designer machine is confirmed; the main indicators were compared with the analogues of the design; a patent research was conducted; recommendations on occupational safety have been developed; proved the economic feasibility of modernization.

Performed calculations confirming the efficiency and reliability of selected designs of the device, such as parametric, hydraulic, calculations of strength and basic units of the device, calculated wind load and insulation layer. The recommendations for installation and operation have been fulfilled, the level of standardization and unification has been determined, the feasibility study for modernization has been made. The results of the calculation are given in the annexes and the explanatory note. Most of the calculations are made in the Mathcad 15 software environment.

The graphic part of the project is made in "COMPAS 3D V12" and includes the technological scheme (A1), the assembly drawing (A1), the case (A1), the cover (A2), the distribution plate (A2) and the technical illustration of the patent idea (A3). Specifications have been made for the specification of assembly drawings.

During the project implementation period, a declarative patent for utility model №132434 U B01J 19/32 was received, and two reports were published at the All-Ukrainian Scientific Conference of Students and Young Scientists".

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
						107
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Перелік посилань

1. Технология основного органического синтеза./ И. И. Юкельсон, 820 с.
2. ГОСТ 5632–72. Стали высоколегированные и сплавы коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные.
3. ГОСТ 7350–77. Сталь толстолистовая коррозионно-стойкая, жаростойкая и жаропрочная. Технические условия
4. ТУ 14–1–394–72. Сталь толстолистовая, высоколегированная коррозионностойкая.
5. Patent № WO 2018/202640 A1 Device for processing and conditioning of material transported through the device, Application No. PCT/EP2018/061069, Filed May 01, 2018.
6. Patent № US 36664095 Exchange packing element, Application No. 768995, Filed Oct. 21, 2018.
7. Патент №2681025 (RU), МПК9 B01D 3/22. Компоновка отверстий для парожидкостной контактной тарелки/ Пиллінг Марк, Глюєр Свен, Уілкінсон Петер. -Заявка №u2017126130, 09.06.2015; Оpubл.01.03.2019, Бюл.№7.
8. Патент №182046 (RU), МПК9 B01D 3/22. Массообменный аппарат/ Голованчиков Александр Борисович, Залипаева Ольга Александровна, Икрянников Егор Александрович. -Заявка №u2018113828, 16.04.2018; Оpubл.01.08.2018, Бюл.№22.
9. Патент №2678666 (RU), МПК9 B01D 3/26. Способ ректификации/ Кривошеев Владимир Петрович, Ануфриев Александр Вячеславович. -Заявка №u2018112641, 10.04.2018; Оpubл.30.01.2019, Бюл.№4.
10. Основи проектування насадкових ректифікаційних колон: Навчальний посібник В.Л. Ракицький, І.О. Мікульонок, Г.Л. Рябцев – К. НМЦВО, 2000. – 200с
11. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию/Г.С. Борисов, В.П. Брыков, Ю.И. Дытнерский и др. Под. ред. Ю.И. Дытнерского, 2-е изд., перераб. И дополн. М.: Химия, 1991. – 496 с.
12. ГОСТ 14249 – 89. Сосуды и аппараты нормы и методы расчета на прочность.

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
						108
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

13. Конструювання та розрахунок фланцевих з'єднань: Навч. посібник/ В.Г. Доброногов, І.О. Мікульонок, – К. : НМК ВО, 1992. – 104 с.

14. Конструювання фланцевих з'єднань сталених посудин та апаратів. Навч. Посібник / І. О. Мікульонок. – К.: ІСДО, 1997. – 151 с.

15. Алгоритм расчета колонных аппаратов. Методические указания к применению ЭВМ по курсу “Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств” для студентов всех форм обучения/ Сост. В.Т. Миргородский, О.Г. Зубрий, В.Л. Кочеров. – Киев: КПИ, 1986 –36 с.

16. Конструювання та розрахунок опор колонних апаратів: Навч. посібник/ І.А. Андреев. – К.: ЗМН, 1997. – 80 с.

17. Мікульонок І.О. Проектування теплової ізоляції обладнання хімічних Мікульонок І. О., виготовлення, монтаж та експлуатація обладнання хімічних виробництв [Текст] : підруч. для студ. вищ. навч. закл. – К. : НТУУ «КПІ», 2012. – 419 с.: іл. – Бібліогр.: с. 413–415.

18. РД 50–33–80. Определение уровня унификации и стандартизации.

19. Укладач : А. М. Задольський, канд. екон. наук, доц., О. О. Шаповаленко. Методичні вказівки до виконання економічної частини дипломних проектів бакалаврів (для студентів інженерно – хімічного факультету). Київ. – 2010. – 16 с.

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
						109
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

**Додаток А**

**Документація до патентного дослідження**

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
						110
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаток А. Патентний пошук.

Для знаходження об'єктів порівняння та перевірки патентної чистоти конструкції проведений патентний пошук.

РЕГЛАМЕНТ ПОШУКУ № ЛН51.1.РП

Найменування теми масообмінний апарат шифр теми ЛН51.  
066239.000

Етап Проектування апарата та його основних частин

Номер, дата завдання на проведення патентних досліджень  
ЛН51.15.04.2019

Обґрунтування регламенту пошуку **Предмет пошуку:** - Насадкова  
(Об'єктом пошуку є винаходи та корисні моделі).

**Мета пошуку інформації** – визначення патентної ситуації щодо масообмінних апаратів (визначення патентноздатності проєктованого апарата і визначення тенденцій розвитку даного напрямку в техніці).

**Визначення держав пошуку.** Встановлюємо такі держави пошуку:  
Україна, США.

**Ретроспективність.** Термін дії патенту на винахід в Україні – 20 років, на корисну модель - 6 років, тому регламент пошуку встановлюємо такий: 1999-2019 роки.

**Класифікаційні індекси.** Міжнародна патентна класифікація: МПК – B01D 3/22, B01D 3/26, B01D 3/33, B01J 3/22, B01J 3/27, B01D 3/324, B01D 3/3226

Уніфікована десяткова класифікація УДК 066.239.

**Джерела інформації.** 1) Патентна інформація: описи до винаходів, офіційні бюлетені Укрпатенту 2) Науково-технічна інформація: монографії з тепломасообмінних процесів, підручники й навчальні посібники з курсу процесів та апаратів хімічних технологій. 3) Міжнародні патентні бази.

Початок пошуку 15.04.2019 Закінчення пошуку 19.05.2019

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
						111
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# Довідка про пошук № ЛН51.1.ДП

Завдання на проведення патентних досліджень ЛН51.066113.000  
(номер, дата)

Етап Проектування апарата та його складових частин

Номер, дата регламенту пошуку ЛН51.1.РП, 15.04.2019

Початок пошуку 15.04.2019 Закінчення пошуку 19.05.2019

Таблиця А.1 – Регламент пошуку (форма А.1 згідно ДСТУ 3575-97)

Предмет пошуку (ОГД, його складові частини)	Мета пошуку інформації	Держава пошуку	Класифікаційні індекси МПК, НПК, МКПЗ, МКТП, УДК	Ретроспективність пошуку	Джерела інформації
Ректифікаційна колона	Визначення патентно-здатності проєктованого апарата й тенденції розвитку цього напрямку в техніці	Україна, США, Франція, Росія	B01D 3/22, B01D 3/26, B01D 3/33, B01J 3/22, B01J 3/27, B01D 3/324, B01D 3/3226	2017-2019	Національні й зарубіжні офіційні бюлетені, описи винаходів і корисних моделей

Джерела інформації, які були використані під час проведення пошуку наведені в таблиці А.2.

Таблиця А.2 - джерела інформації. Використані під час проведення пошуку

Предмет пошуку (ОГД, його складові частини)	Держава пошуку	Класифікаційні індекси	Інформаційна база, використана під час пошуку	Бібліографічні данні першого та останнього за хронологією джерела інформації	
				Патентна інформація	Інша науково-технічна інформація
1	2	3	4	5	6
Ректифікаційна колона	Україна; США. Франція Росія	B01D 3/22, B01D 3/26, B01D 3/33, B01J 3/22, B01J 3/27, B01D 3/324, B01D 3/3226	Державний патентний фонд бази даних об'єктів промислової власності, до яких надається безоплатний доступ в Інтернеті: <a href="http://ep.espacenet.com/">http://ep.espacenet.com/</a> <a href="http://base.ukrpatent.org">http://base.ukrpatent.org</a>	Описи винаходів патентів Росії № 2681025 Описи корисних моделей патентів Росії № 182046. Описи корисних моделей	Дытнерский Ю.И. процессы и аппараты хим. Технологии: Часть 2. Массообменные процессы и аппараты. – М.: Химия, 1992 – 384с. Иоффе И.Л. Проектирование процессов и аппаратов химической

## Продовження таблиці А.2

1	2	3	4	5	6
			<a href="http://www.google.com/patents">http://www.google.com/patents</a>	патентів Росії № 2678666. Описи винаходів патентів США № 36664095 Описи винаходів патентів Франції № 2018/202640	технології.– Л.: Химия, 1991.–352 с. Звіти про НДР і ДКР.

У результаті проведення патентного пошуку для подальшого аналізу вибрані такі патентні документи (перелік згідно з таблиці А.3).

Таблиця А.3 – Патентна документація, відібрана для подальшого аналізу

ОГД, його складові частини	Документи на об'єкти промислової власності	
	Бібліографічні дані	Відомості щодо їхньої дії
1	2	3
Ректифікаційна колона	Патент №2681025 (RU), МПК9 В01D 3/22. Компонировка отверстий для парожидкостной контактной тарелки/ Пиллінг Марк, Глюер Свен, Уілкінсон Петер. -Заявка №u2017126130, 09.06.2015; Оpubл.01.03.2019, Бюл.№7.	Діє
Ректифікаційна колона	Патент №182046 (RU), МПК9 В01D 3/22. Массообменный аппарат/ Голованчиков Александр Борисович, Залипаева Ольга Александровна, Икрянников Егор Александрович. - Заявка №u2018113828, 16.04.2018; Оpubл.01.08.2018, Бюл.№22.	Діє
Ректифікаційна колона	Патент №2678666 (RU), МПК9 В01D 3/26. Способ ректификации/ Кривошеев Владимир Петрович, Ануфриев Александр Вячеславович. -Заявка №u2018112641, 10.04.2018; Оpubл.30.01.2019, Бюл.№4.	Діє

Продовження таблиці А.3

1	2	3
Ректифікаційна колона	Patent № WO 2018/202640 A1 Device for processing and conditioning of material transported through the device, Application No. PCT/EP2018/061069, Filed May 01, 2018.	Діє
Ректифікаційна колона	Patent № US 36664095 Exchange packing element, Application No. 768995, Filed Oct. 21, 2018.	Діє

Аналіз новизни, винахідницького рівня та промислової придатності проектного об'єкта наведено в таблиці А.4.

Таблиця А.4 – Аналіз новизни, винахідницького рівня та промислової придатності проектного об'єкта

ОГД, його складові частини		Найближчий аналог		Очікуваний результат	Можливості використання у промисловості або іншій сфері діяльності	Номер поданої заявки, дата подачі заявки*
назва	сукупність ознак	бібліографічні дані	сукупність ознак			
1	2	3	4	5	6	7
Ректифікаційна колона	А)вертикальний корпус; Б)насадка; В)розподільча тарілка Г)ланцюг	Patent № WO 2018/202640 МПК9 D01J 3/22.	А)вертикальний корпус; Б)насадка; В)розподільча тарілка	Підвищення ефективності масообміну	Можливе використання в хімічній нафтохімічній та інших галузях промисловості.	у 2012 13083, 16.11.2012, 25.03.2013



**Додаток Б**

**Комп'ютерний розрахунок елементів насадкової ректифікаційної колони**

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
						115
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаток Б. Програма розрахунку товщини стінки насадкової колони під дією внутрішнього надлишкового тиску.

На рисунку Б.1 зображено блок – схему до розрахунку.

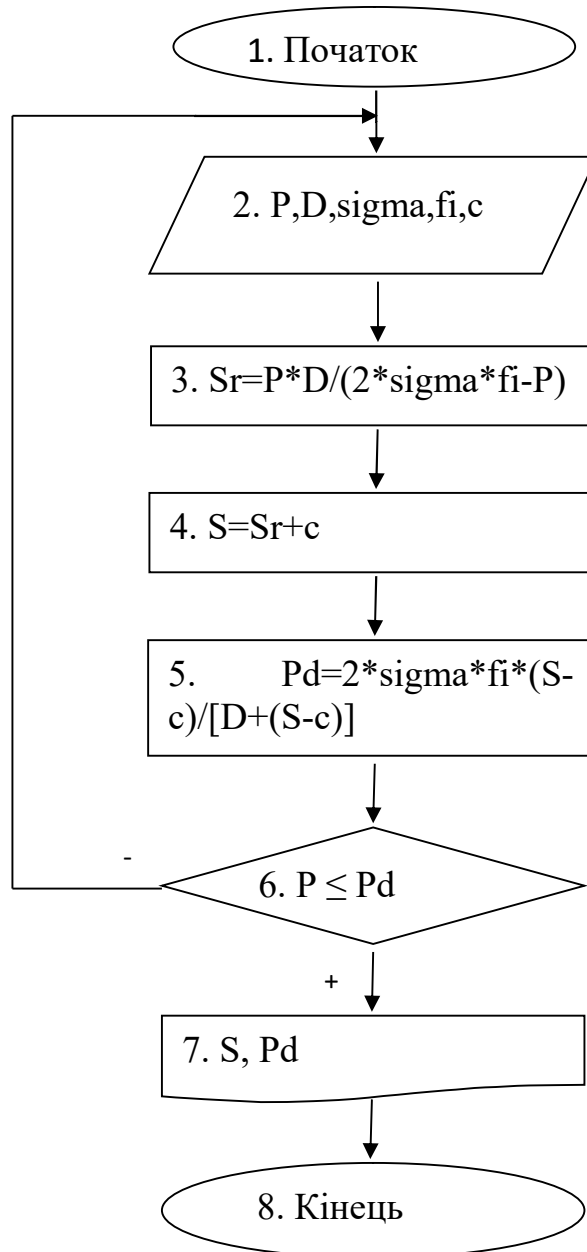


Рисунок Б.1 – Блок – схема розрахунку товщини стінки насадкової колони під дією внутрішнього надлишкового тиску

Таблиця Б.2 – Таблиця ідентифікаторів

Найменування	Ідентифікатор	Розмірність
Розрахунковий тиск	$P_p$	МПа
Внутрішній діаметр	$D$	м
Допустиме напруження	$\sigma_{dop}$	МПа
Прибавка на корозію	$C$	м
Технологічна прибавка	$C_1$	м
Розрахункова товщина	$S_r$	м
Прийнята товщина	$S$	м
Допустимий тиск	$p_{dop}$	МПа
Коефіцієнт зварного шва	$f_i$	-
Висота еліптичної частини	$H$	м
Швидкість корозії	$V_k$	

Товщина циліндричної обичайки

Сталь 08X18H10T

$$P := 0.1 \quad D := 1 \quad \sigma := 140$$

$$\varphi_{\text{ш}} := 0.9$$

$$S_{\text{ш}} := \frac{D \cdot P}{2 \cdot \sigma \cdot \varphi_{\text{ш}} - P} = 3.97 \times 10^{-4}$$

$$S_{\text{ш}} := 14 \quad c1 := 0.5 \quad c2 := 0.5 \quad c3 := 0 \quad C := 1$$

$$S := S_{\text{ш}} + c1 + c2 + c3 = 15$$

$$P_{\text{доп}} := \frac{2 \cdot \sigma \cdot \varphi_{\text{ш}} \cdot (S - C) \cdot 10^{-3}}{D + (S - C) \cdot 10^{-3}} = 3.479$$

$$0.1 < 3.479$$

Товщина еліптичного днища

Сталь 08X18H10T

$$P = 0.1 \quad D = 1 \quad \sigma := 140$$

$$\varphi_{\text{ш}} := 0.9$$

$$S_{\text{ш}} := \frac{D \cdot P}{2 \cdot \sigma \cdot \varphi_{\text{ш}} - 0.5P} = 3.969 \times 10^{-4}$$

$$S_{\text{ш}} := 1 \quad C := 1$$

$$S := S_{\text{ш}} + C = 2$$

$$P_{\text{доп}} := \frac{2 \cdot \sigma \cdot \varphi_{\text{ш}} \cdot (S - C) \cdot 10^{-3}}{D + (S - C) \cdot 10^{-3}} = 0.252$$

$$0.1 < 3.479$$

+

$$H := 0.25 \cdot D = 0.25$$

$$h := 25$$

$$h_{\text{в}} := 62 \quad D = 1$$

## Додаток В

### Патенти, які використані в патентному дослідженні

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
						119
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# United States Patent

Asker et al.

[15] 3,664,095

[45] May 23, 2018

## [54] EXCHANGE PACKING ELEMENT

[72] Inventors: **Gunnar C. F. Asker; Maurice A. Hubscher**, both of 18 Industrial Drive, Trenton, N.J.

[22] Filed: **Oct. 21, 2018**

[21] Appl. No.: **768,995**

[52] U.S. Cl. .... **55/387, 55/524, 210/501, 210/502, 210/506**

[51] Int. Cl. .... **B01d 53/02**

[58] Field of Search .... **55/387-389, 524; 210/36, 506, 501, 502**

2,785,805 3/1957 Hough .....210/36 X  
2,906,512 9/1959 Meek .....55/524 X  
3,238,056 3/1966 Pall et al. ....210/506 X

*Primary Examiner*—John Adee  
*Attorney*—Sol B. Wiczer

## [57] ABSTRACT

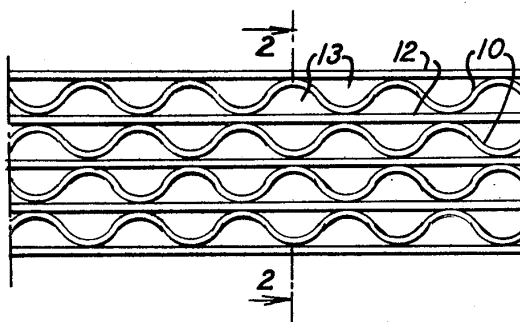
A packing for fluid treatment, either gaseous or liquid, for various surface contact effects such as drying of the fluid, heat exchange, ion exchange, molecular sieve separations and the like, wherein a laminated cellular structure of paper is coated throughout the cellular structure with a hard resin such as an epoxy resin in which such resin coating can be used alone for heat exchange purposes, or it can be further coated with dry solids to effect many of the fluid modifications.

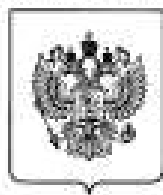
## [56] References Cited

### UNITED STATES PATENTS

2,038,071 4/1936 Wilhelm .....53/388 X

13 Claims, 6 Drawing Figures





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

B01D 3/22 (2008.08); B01D 3/324 (2008.08); B01D 3/326 (2008.08)

(21)(22) Заявка: 2017126130, 09.06.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
09.06.2015Дата регистрации:  
01.03.2019

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:  
23.12.2014 US 62/096,122(43) Дата публикации заявки: 24.01.2019 Бюл. №  
3

(45) Опубликовано: 01.03.2019 Бюл. № 7

(85) Дата начала рассмотрения заявки PCT на  
национальной фазе: 24.07.2017(86) Заявка PCT:  
EP 2015/062855 (09.06.2015)(87) Публикация заявки PCT:  
WO 2016/102081 (30.06.2016)Адрес для переписки:  
129090, Москва, ул. Б. Спасская, 25, стр. 3, ООО  
"Юридическая фирма Городиский и  
Партнеры"

(72) Автор(ы):

ПИЛЛИНГ Марк В. (US),  
ГЛЮЕР Свен (CH),  
УИЛКИНСОН Петер (NL),  
АНДЕРСОН Райан И. (US)

(73) Патентообладатель(и):

ЗУЛЬЦЕР ХЕМТЕХ АГ (CH)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: US 2013/0099402 A1, 25.04.2013, WO  
99/24135, 20.05.1999, US 2003/019737 A1,  
30.01.2003, US 3146280 A1, 25.08.1964, US  
2045518 A1, 23.06.1936.

## (54) КОМПОНОВКА ОТВЕРСТИЙ ДЛЯ ПАРОЖИДКОСТНОЙ КОНТАКТНОЙ ТАРЕЛКИ

(57) Реферат:

Изобретение относится к парожидкостному контактному тарельчатому устройству для использования в разделительной колонке. Согласно первому аспекту изобретения парожидкостное контактное тарельчатое устройство включает тарелку, имеющую множество отверстий для прохождения жидкости. Отверстия расположены с образованием треугольной конфигурации смежных отверстий. Центры смежных отверстий в пределах каждого ряда расположены на расстоянии, равном от 2,5

до 4,5 средней длины отверстий, смежные ряды расположены на расстоянии от 1,5 до 2,5 средней ширины отверстий. Тарелка выполнена с возможностью её поддержки опорой тарелки, в которой выполнены аэрирующие отверстия. Согласно второму аспекту изобретения парожидкостное контактное тарельчатое устройство включает тарелку и опору тарелки, в которой выполнены аэрирующие отверстия. Одно или более отверстий частично покрыты покрытием, которое расположено с

Стр.: 4

RU 2 681 025 C 2

RU 2 681 025 C 2

Змн.	Арк.	№ докум.	Подпис	Дата

ЛН01.066239.001 ПЗ

Арк.

121

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) RU (11)

2 678 666 (13) C1

(51) МПК  
B01D 3/26 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
B01D 3/26 (2008.08)

(21)(22) Заявка: 2018112641, 10.04.2018

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
10.04.2018Дата регистрации:  
30.01.2019

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 10.04.2018

(45) Опубликовано: 30.01.2019 Бюл. № 4

Адрес для переписки:

690950, Приморский край, г. Владивосток, ул.  
Суханова, 8, отдел интеллектуальной  
собственности ДВФУ

(72) Автор(ы):

Кривошеев Владимир Петрович (RU),  
Акуфриев Александр Вячеславович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Дальневосточный федеральный  
университет" (ДВФУ) (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: SU 1005804 A1, 23.03.1983. RU  
93018285 A, 27.03.1996. RU 2182030 C2,  
10.05.2002. WO 84/04048 A1, 25.10.1984.

(54) Способ ректификации

(57) Реферат:

Изобретение относится к способам проведения тепломассообменных процессов, в частности к процессу циклической ректификации. Способ ректификации, содержащий подачу исходной смеси, флегмы и пара в ректификационную колонну, в которой они разделяются перемещаются с использованием контактных массообменных тарелок, причем в период подачи жидкой фазы отсекают поток паровой фазы, и вывод готового продукта, отличающийся тем, что подачу исходной смеси и пара осуществляют непрерывно,

кроме того, пространство ректификационной колонны разделено на независимые секции, колонна содержит распределительные устройства, выполненные с возможностью синхронной подачи исходной смеси и флегмы последовательно в каждую из секций, кроме того, поток паровой фазы отсекают для секции, в которую поступает жидкая фаза. Технический результат выражается в повышении эффективности и оптимизации процесса ректификации в циклическом режиме. 3 ил.

RU 2 678 666 C1

RU 2 678 666 C1

Змн.	Арк.	№ докум.	Подпис	Дата

ЛН01.066239.001 ПЗ

Арк.

122





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
B01D 3/22 (2008.05)

(21)(22) Заявка: 2018113828, 16.04.2018

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
16.04.2018

Дата регистрации:  
01.08.2018

Приоритет(ы):  
(22) Дата подачи заявки: 16.04.2018

(45) Опубликовано: 01.08.2018 Бюл. № 22

Адрес для переписки:  
400005, г. Волгоград, пр. Ленина, 28, отдел  
интеллектуальной собственности ВолГТУ

(72) Автор(ы):

Голованчиков Александр Борисович (RU),  
Завишова Ольга Александровна (RU),  
Завишав Павел Павлович (RU),  
Прохоренко Наталья Андреевна (RU),  
Коберник Александр Александрович (RU),  
Искришников Егор Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Волгоградский  
государственный технический университет"  
(ВолГТУ) (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 97931 U1, 27.09.2010. RU  
2452550 C1, 10.06.2012. RU 2330704 C2,  
10.08.2008. RU 2127630 C1, 20.03.1999.

## (54) МАССООБМЕННЫЙ АППАРАТ

(57) Реферат:

Техническое решение относится к конструкциям массообменных аппаратов и может быть использовано в химической, нефтехимической, фармацевтической, пищевой и других отраслях промышленности, а также в экологических процессах очистки сточных вод, дымовых газов и вентиляционных выбросов, проходящих при высоких температурах.

Техническим результатом является повышение производительности массообменного аппарата.

Технический результат достигается тем, что массообменный аппарат, содержащий корпус, перфорированные диски, имеющие возможность

перемещения и выполненные в виде тарелок с переливными патрубками, кольцевые желоба, жестко закрепленные на внутренней боковой поверхности корпуса в местах установки тарелок, и кольца, закрепленные по краям тарелок по окружности, на нижнем торце каждого кольца равномерно по окружности установлены элементы с положительной плавучестью в виде поплавков, на каждом желобе в зоне переливного патрубка установлены ограничительные пластины, при этом перфорированные диски тарелок выполнены из пористого металла в виде спекшихся сферических частиц.

RU 182 046 U1

RU 182 046 U1



## (51) International Patent Classification:

**B01J 19/32** (2006.01)      **B01J 37/18** (2006.01)  
**B01J 16/00** (2006.01)      **B01J 23/63** (2006.01)  
**B01J 19/24** (2006.01)      **B01J 35/00** (2006.01)  
**B01F 5/06** (2006.01)      **B01J 35/02** (2006.01)  
**B01J 37/02** (2006.01)      **B01J 35/04** (2006.01)  
**B01J 37/16** (2006.01)

## (21) International Application Number:

PCT/EP2018/061069

## (22) International Filing Date:

01 May 2018 (01.05.2018)

## (25) Filing Language:

English

## (26) Publication Language:

English

## (30) Priority Data:

17168885.6      01 May 2017 (01.05.2017)      EP

## (71) Applicant: DSM IP ASSETS B.V. [NL/NL]; Het Overloon 1, 6411 TE Heerlen (NL).

(72) Inventors: **ALTHEIMER, Marco**; c/o DSM Nutritional Products Ltd, Patent Department, Wurmisweg 576, 4303 Kaiseraugst (CH). **BONRATH, Werner**; c/o DSM Nutritional Products Ltd, Patent Department, Wurmisweg 576, 4303 Kaiseraugst (CH). **GOY, Roman**; c/o DSM Nutritional Products Ltd, Patent Department, Wurmisweg 576, 4303 Kaiseraugst (CH).

Kaiseraugst (CH). **MEDLOCK, Jonathan, Alan**; c/o DSM Nutritional Products Ltd, Patent Department, Wurmisweg 576, 4303 Kaiseraugst (CH). **VERNUCCIO, Sergio**; c/o DSM Nutritional Products Ltd, Patent Department, Wurmisweg 576, 4303 Kaiseraugst (CH). **VON ROHR, Philipp, Rudolf**; c/o DSM Nutritional Products Ltd, Patent Department, Wurmisweg 576, 4303 Kaiseraugst (CH).

(74) Agent: **KURT, Manfred**, DSM Nutritional Products Ltd, Patent Department, Wurmisweg 576, 4303 Kaiseraugst (CH).

**(81) Designated States** (unless otherwise indicated, for every kind of national protection available): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

**(84) Designated States** (unless otherwise indicated, for every kind of regional protection available): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), Eurasian (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ,

## (54) Title: DEVICE FOR PROCESSING AND CONDITIONING OF MATERIAL TRANSPORTED THROUGH THE DEVICE

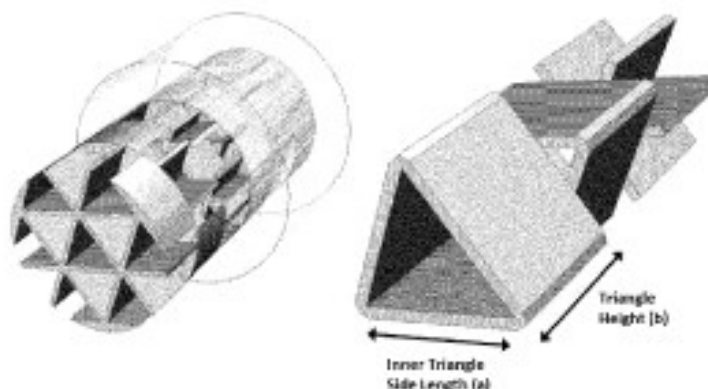


Figure 1: Left) View of triangular structure and pipe.  
 Right) Hexagonal unit cell of the triangular structure.

## (57) Abstract: The present invention relates to a device for treatment of material transported through the device having a specific design.

WO 2018/202640 A1

**Додаток Г**

**Публікації автора**

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
						125
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## КАМІНСЬКИЙ ВСЕВОЛОД СЕРГІЙОВИЧ

1. Патент України на корисну модель «Насадковий масообмінний апарат»; Опубл. 25.04.2019; заявн.: Гулієнко С.В., Камінський В.С.

2. Насадковий масообмінний апарат / Камінський В.С., Гулієнко С.В., // «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів»: XXIV всеукраїнська наукова-практична конференція студентів, аспірантів і молодих вчених, (Київ 22-23 квітня 2019р.): зб. тез доп. –К.: НТУУ «КПІ», 2019р. – Секція 1. – 18-19 .

3. Отримання ацетону шляхом окислювального дегідрування ізопропанолу / Камінський В.С., Гулієнко С.В., // «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів»: XXIII всеукраїнська наукова-практична конференція студентів, аспірантів і молодих вчених, (Київ 28-29 листопада 2018р.): зб. тез доп. –К.: НТУУ «КПІ», 2018р. – Секція 1. – 21-22.

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
						126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



МІНІСТЕРСТВО  
ЕКОНОМІЧНОГО  
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) UA (11) 132434 (13) U  
(51) МПК  
B01J 19/32 (2006.01)

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

(21) Номер заявки:	u 2018 09718	(72) Винахідник(и):	Камінський Всеволод Сергійович (UA), Гулієнко Сергій Валерійович (UA)
(22) Дата подання заявки:	28.09.2018	(73) Власник(и):	Камінський Всеволод Сергійович, вул. Волгоградська, 41, кв. 89, м. Київ-214, 03141 (UA), Гулієнко Сергій Валерійович, просп. Оболонський, 36, кв. 181, м. Київ- 214, 04214 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель:	25.02.2019		
(46) Публікація відомостей про видачу патенту:	25.02.2019, Бюл.№ 4		

**(54) НАСАДКОВИЙ МАСООБМІННИЙ АПАРАТ**

**(57) Реферат:**

Насадковий масообмінний апарат містить корпус, розподільник рідини, штуцер для відведення рідини, штуцер для введення і відведення газу, заповнений насадкою, що складається з вертикально підвішених ланцюгів, розміщених концентрично. Ланцюги з'єднані між собою поперечними ланками.

UA 132434 U

					ЛН01.066239.001 ПЗ	Арк.
						127
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

УДК66.048.3

## НАСАДКОВИЙ МАСООБМІННИЙ АПАРАТ

студент Камінський В. С., к.т.н., ст. викл. Гулієнко С.В.

Національний технічний університет України

"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Ацетон широко застосовується у промисловості в якості розчинника, а також у виробництві штучного хутра, бездимного порошку та шовку. Для отримання ацетону використовується насадковий масообмінний апарат, який призначений для розділення двокомпонентної рідкої суміші ізопропанолу та етанової кислоти.

Метою модернізації є збільшення питомої поверхні насадки.

Поставлена мета вирішується тим, що в насадковому масообмінному апараті, що містить корпус, розподільвач рідини, штуцер для відведення рідини, штуцер для введення і відведення газу, заповнений насадкою, що складається з вертикально підвішених ланцюгів розміщених концентрично, який відрізняється тим що, ланцюги з'єднані між собою поперечним ланками та розміщені в апараті концентрично при чому апарат містить ланцюги з'єднані між собою поперечним ланками та розміщені в апараті концентрично.

Насадковий масообмінний апарат працює наступним чином. У верхню частину апарату на ланцюгу через штуцер і розподільний пристрій 2 подається насичений газом рідкий абсорбент. Рідина стікає плівкою зверху вниз по ланках ланцюгів 5. Можливе утворення натягнутої плівки рідини всередині ланки ланцюга. Така плівка з двох сторінок стикається з потоком газу, що призводить до збільшення поверхні масообміну. Газ, що виділився піднімається від низу до верху по криволінійних каналах між ланцюгами. Поперечний переріз каналів по висоті змінюється, і тому в місцях звужень потоку формуються підвищені швидкості газу і, як наслідок, в таких областях формується знижений тиск. В результаті це призводить до руху ланок ланцюга, що намагаються рухатись в

область зниженого тиску. При взаємодії на поверхні насадки потоків газу і рідини відбувається масоперенос компонента з рідкої фази в газову фазу. Газ, що виділився відводиться через штуцер в верхній частині апарату. Очищений абсорбент відводиться через штуцер в нижній частині апарату.

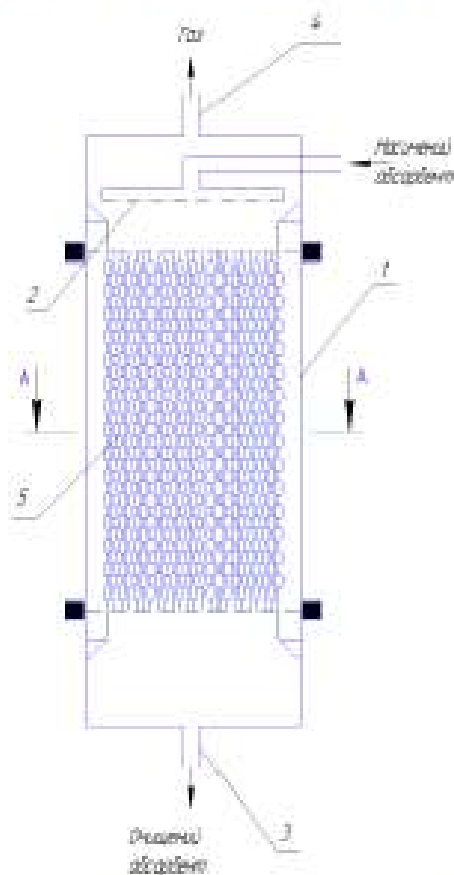


Рисунок 1 – Схема насадкового масообмінного апарату

Таке виконання дозволяє збільшити питому поверхню насадки, що збільшить ефективність протікання процесу.

#### Перелік посилань:

1. Кутепов А. М., Бондарева Т. І., Беренгартен М. Г. "Общая химическая технология", Москва "Высшая школа" 1990 р., с. 452.
2. Заява на патент України. МПК В01J 19/32 Насадковий масообмінний апарат / Камінський В. С., Гулієнко С. В.; заявник і патентовласник вони ж. – № u201809718; заявл. 28.09.2018

УДК 661.727.4

## ВИРОБНИЦТВО АЦЕТОНУ ШЛЯХОМ ОКИСЛЮВАЛЬНОГО ДЕГІДРУВАННЯ ІЗОПРОПАНОЛУ

студент Камінський В.С., ст. викл., к.т.н. Гулієнко С.В.

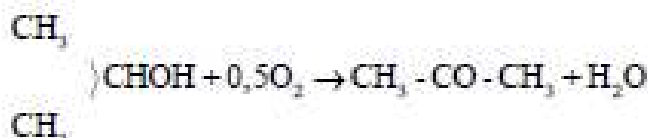
Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Ацетон в порівнянно невеликих кількостях отримується при суцільній перегонці деревини разом з етановою кислотою. Довгий час його отримували бродінням вуглеводів у присутності особливих бактерій. Продукти бродіння містять 30,5% ацетону. В наш час цей спосіб вже не є ефективним, його витісняють синтетичні методи отримання ацетону, де якості сировини виступають продукти переробки нафти, нафтових газів і кам'яного вугілля [1].

Промислові методи отримання синтетичного ацетону загалом численні. Найбільш поширеним методом є окислювальне дегідрування ізопропілового спирту.

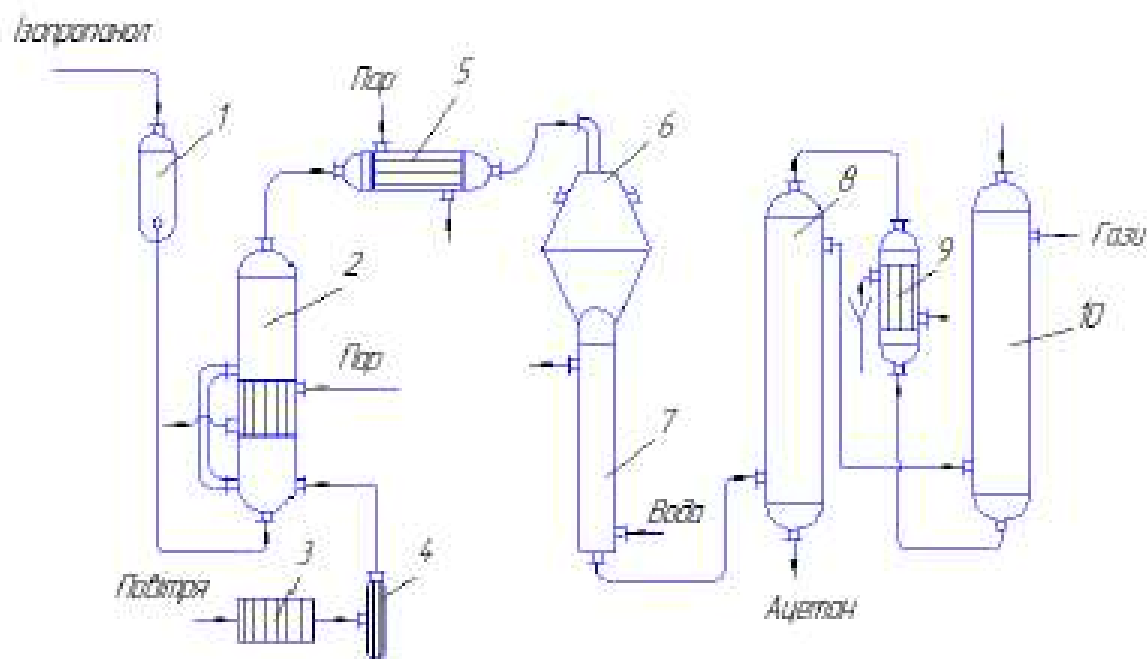
При отриманні ацетону окислювальним дегідруванням ізопропанолу, в паровій фазі суміш парів спирту і повітря пропускають над металевим каталізатором при високій температурі:



Внаслідок екзотермічної реакції можливі сильні перегріву контактної маси і розкладання утвореного ацетона. Для зменшення сумарного теплового ефекта, процес проводять надостатку повітря [2].

Процес отримання ацетону окислювальним дегідруванням ізопропілового спирту складають наступні стадії (Рисунок 1) – випаровування ізопропілового спирту, насичення повітря парами спирту і перегрів пароповітряної суміші, окислювальне дегідрування ізопропанолу при 600°C на срібному каталізаторі і охолодження продуктів реакції, абсорбція ацетону з контактних газів водою, ректифікація і очистка ацетону.





1 – мірник; 2 – випаровувач; 3 – фільтр; 4 – повітродувка; 5 – підігрівач; 6 – контактний апарат; 7 – холодильник; 8,10 – Насадкові масообмінні колони; 9 – проміжний холодильник.

Рисунок 1– Схема виробництва ацетону окисленням ізопропанолу

Основним елементом технологічної схеми є насадкові масообмінні колони, які були вдосконалені, заміною насадки з малою питомою поверхнею на ланцюгову насадку з поперечними ланками і концентричним розташуванням самої насадки. Збільшення питомої поверхні контакту фаз значно збільшило рушійну силу процесу.

#### Перелік посилань:

1. Технология основного органического синтеза./ И. И. Юкельсон, 820 с.
2. Конвективный тепло- и массообмен./ В. М. Кэйс, 1972 – 800 с.